



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LODOS DE DRAGADO DE LA LAGUNA DE COLTA”**

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

IMELDA ALEXANDRA BONILLA PINO

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

DEDICATORIA

A todos quienes aún comparten junto a mí cada uno de mis sueños y vivieron a mi lado cada fallo sin dejarme flaquear ante las adversidades, porque aún siguen formando parte de mis metas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por rodearme de bendiciones y de gente que ha apoyado cada paso que me he permitido dar; por dotarme del valor y la constancia necesaria para cumplir mis metas.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por los conocimientos y valores impartidos.

Al GAD Municipal Colta por haberme permitido desarrollar la presente tesis y brindarme las facilidades necesarias para la ejecución del mismo.

A la Dra. Jenny Moreno por su amistad, paciencia y tiempo para dirigir mis pasos en el desarrollo de esta tesis de la manera más acertada.

A mi madre la Señora Lourdes Pino por haber permanecido a mi lado en los momentos en los que me he sentido derrotada, por ser el pilar principal en mi formación personal, y por hacer de mí una persona más sensata en mi accionar.

A Santiago Solís, Hitler Guerrero, Jhoanna Chávez por haberme brindado su amistad de forma tan sincera y por haber hecho más llevadera cada una de las etapas de mi vida durante mi desarrollo profesional y personal; sin dejarme sola ni un instante, demostrándome así que los amigos son más que eso al convertirse en mi familia y en una de las bases para mi superación.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS LODOS DE DRAGADO DE LA LAGUNA DE COLTA”**, de responsabilidad de la señorita Imelda Alexandra Bonilla Pino ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. César Ávalos Infante

DECANO DE LA FACULTAD

DE CIENCIAS

Dra. Nancy Veloz

DIRECTORA DE LA ESCUELA

DE CIENCIAS QUÍMICAS

Dra. Jenny Moreno

DIRECTORA DE TESIS

Dr. Gerardo León

ASESOR DE TESIS

Tlgo. Eduardo Tenelanda

DIRECTOR CENTRO DE

DOCUMENTACIÓN

NOTA DE LA TESIS ESCRITA

“Yo Imelda Alexandra Bonilla Pino, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

IMELDA ALEXANDRA BONILLA PINO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área
B	Ancho
°C	Grados centígrados
CH ₄	Metano
Cm	Centímetros
CORPLAB	Corporación de Laboratorios Ambientales
COV	Carga volumétrica del digestor
Cs	Carga Superficial
D	Diámetro
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPA	Environmental Protection Agency
f _s	Factor de seguridad asumido
H	Altura
Ha	Hectárea
h _s	Altura de seguridad
h _f	Pérdida de carga
L	Longitud
M1	Muestra 1
M2	Muestra 2
M3	Muestra 3
m	Metros
mm	Milímetros

N	Nitrógeno
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrógeno
Ppm	Partes por Millón
Q	Caudal
SST	Sólidos Suspendidos Totales
S _o	Concentración de DBO o DQO
SS	Sólidos Suspendidos
T	Tiempo
TMS	Tasa Másica de Carga
Trh	Tiempo de Retención Hidráulica
UFC/g suelo seco	Unidades Formadoras de Colonia por gramo de suelo seco
V	Volumen
v	Velocidad
W	Wats
X	Concentración de sólidos suspendidos volátiles
μSiems/cm	Micro siems por centímetro
cm/s	Centímetros por segundo
mEq/g	Mili equivalentes por gramo
mg/Kg	Miligramo por kilogramo
mg/L	Miligramo por litro
Km ³ /año	Kilómetro cúbico por año
L/s	Litros por segundo
Θ _c	Tiempo de retención celular

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
SUMMARY	ii
INTRODUCCIÓN	iii
JUSTIFICACIÓN	v
OBJETIVOS	vii
GENERAL	vii
ESPECÍFICOS	vii
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA.....	1
1.2 CALIDAD DEL AGUA	2
1.2.1 Características físicas	4
1.2.2 Características Químicas	5
1.2.3 Características biológicas.....	5
1.3 IMPORTANCIA DEL RECURSO AGUA	6
1.4 RECURSOS HÍDRICOS EN EL ECUADOR.....	7
1.4.1 Principales vertientes hidrográficas de Ecuador	7
1.5 Principales problemas que afectan los cuerpos de agua.....	8
1.5.1 Eutrofización.....	8
1.5.2 Fases de eutrofización	8
1.5.3 Sedimentación.....	9
1.6 TRATAMIENTO DE LODOS	10
1.6.1 VOLUMEN DE LODOS	10
1.6.2 Espesamiento de lodos	11
1.6.3 Pretratamiento	11
1.6.4 PROCESO DE DIGESTIÓN	19
1.6.5 SECADO DE LODOS	23
1.7 UTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE LOS FANGOS	24
1.8 TRATAMIENTO DE AGUA	24

1.8.1	TRATAMIENTO PRIMARIO	24
1.9	LAGUNA DE COLTA	28
1.9.1	Variables del estado	30
1.10	PROYECTO EN FASE DE RECUPERACIÓN.....	32
1.10.1	DRAGADO DE SEDIMENTOS	33
1.10.2	EXTRACCIÓN Y MOVILIZACIÓN DE TOTORA	33
1.11	Protocolo de toma de muestra	34
1.11.1	Zonificación de las áreas de muestreo.....	34
1.11.2	Método de toma de muestra de suelo	35
1.11.3	Tipo de muestras	36
1.11.4	Colecta de la muestra de suelo	36
1.11.5	Homogenización de la muestra	37
1.11.6	Envasado e identificación	38
1.11.7	Transporte	38
1.12	EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES-MÉTODO DE LEOPOLD	39
1.13	MARCO LEGAL	40
1.13.1	CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ECUADOR	40
1.13.2	LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL	41
CAPÍTULO II		43
2	MATERIALES Y MÉTODOS	43
2.1	DISEÑO EXPERIMENTAL	43
2.1.1	Localización de la investigación	43
2.1.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	45
2.2	METODOLOGÍA	46
2.2.1	Reconocimiento del Malecón de la Laguna de Colta.....	46
2.2.2	Medición de caudal real diario dragado	46
2.2.3	Determinación de caudal de lodo y agua total	47
2.3	MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA.....	48
2.3.1	Lodos.....	48
2.3.2	Caracterización del Agua	49

2.3.3	Determinación de la topografía del terreno.....	50
2.4	Dimensionamiento de la planta de tratamiento	51
2.4.1	Elaboración de planos	51
2.5	Método de evaluación de Impactos Ambientales.....	52
2.5.1	Actividades impactantes durante la fase de construcción	52
2.5.2	Factores ambientales afectados durante la construcción.....	52
2.5.3	Evaluación del impacto ambiental mediante Matriz de Leopold modificada.	53
CAPÍTULO III.....		55
3	CÁLCULOS Y RESULTADOS	55
3.1	CÁLCULOS.....	55
3.1.1	Reconocimiento del Malecón de la Laguna de Colta.....	55
3.1.2	Caudal real diario dragado	55
3.1.3	Determinación de caudal de lodo y agua total a tratar del material dragado	57
3.1.4	Caracterización Físico, Química y Microbiológica.....	59
3.1.5	Topografía del terreno.....	63
3.1.6	Planta de tratamiento de lodos propuesta.....	64
3.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	68
3.2.2	Cálculos del dimensionamiento de la planta de tratamiento de lodos.....	71
3.2.3	CÁLCULO PARA DETERMINAR LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	102
3.3	RESULTADOS.....	104
3.3.1	Resultado del dimensionamiento de la planta de tratamiento	104
3.3.2	Resultado de dimensionamiento de caja de revisión.....	104
3.3.3	Resultado de dimensionamiento de rejillas	104
3.3.4	Resultado del dimensionamiento del tanque de igualación.....	105
3.3.5	Resultado de dimensionamiento de sedimentador primario.....	106
3.3.6	Resultado del dimensionamiento de lodos activados	107
3.3.7	Resultados del dimensionamiento de sedimentador secundario	108
3.3.8	Resultados del dimensionamiento de digestor anaerobio.....	108
3.3.9	Resultados del dimensionamiento de eras de secado	109
3.3.10	Impacto Ambiental.....	112

3.3.11	Análisis de costos	113
CAPÍTULO IV		118
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
4.1	Conclusiones	118
4.2	Recomendaciones.....	120
BIBLIOGRAFÍA		121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vertientes Hidrográficas-Ecuador.....	7
Tabla 2. Características de operación de los procesos de lodos activados	15
Tabla 3. Valores de TDS recomendadas	17
Tabla 4. Tasas de carga másica	18
Tabla 5. Valores de profundidad de agua.....	19
Tabla 6. Métodos usados para el análisis físico-químico de Lodos de la Laguna de Colta (Muestra tomada el 16 de Abril 2013)	48
Tabla 7. Métodos utilizados para el análisis físico-químico de agua (Muestra tomada el 16 de Abril 2013)	49
Tabla 8. Métodos utilizados por SAQMIC para el análisis MICROBIOLÓGICO de agua. (Muestra tomada el 16 de Abril 2013)	50
Tabla 9. Escala de valoración de impactos	53
Tabla 10. Valoración de la magnitud e importancia de la matriz de Leopold.....	54
Tabla 11. Área y Perímetro de las celdas.....	55
Tabla 12. Datos de muestreo de Caudal	56
Tabla 13. Datos de muestra filtrada por hora	57
Tabla 14. Resultados De Laboratorio – Análisis De Lodos	59
Tabla 15. Resultados De Laboratorio- Análisis Físico-Químico De Agua	61
Tabla 16. Resultados De Laboratorio- Análisis Microbiológico De Agua	62
Tabla 17. Caudales a manejar	64
Tabla 18. Determinación de caudal de lodo y agua a tratarse	68
Tabla 19. Datos del muestreo.....	69
Tabla 20. Medidas típicas del ancho del canal de rejillas y separación entre barras de limpieza manual.....	72
Tabla 21. Coeficiente de pérdida para rejillas	73
Tabla 22. Tabla de caudal distribuido para 24 horas de trabajo.....	78
Tabla 23. Parámetros recomendados para diseño de tanques de igualación	79
Tabla 24. Velocidades terminales a caudal medio	81
Tabla 25. Velocidades terminales a caudal máximo.	81
Tabla 26. Tiempo de retención para sedimentadores	82
Tabla 27. Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados.....	85
Tabla 28. Edad de lodos para diseño de digestores anaerobios de mezcla completa.....	94
Tabla 29. Coeficientes cinéticos para la digestión anaerobia.....	94
Tabla 30. Resultado dimensionamiento de rejillas.....	104
Tabla 31. Resultado dimensionamiento de tanque de igualación.....	105
Tabla 32. Resultados dimensionamiento de sedimentador primario.....	106
Tabla 33. Resultados dimensionamiento lodos activados	107
Tabla 34. Resultados dimensionamiento sedimentador secundario	108

Tabla 35. Resultados dimensionamiento digestión anaerobia de lodos.	109
Tabla 36. Resultados dimensionamiento eras de secado.....	109
Tabla 37. Análisis de costos.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista Planta De Un Sistema Manual De Rejillas Con Dos Cámaras.....	25
Figura 2. Análisis Multitemporal De La Evolución De La Laguna	30
Figura 3. Mapa de avance de procesos erosivos de la Laguna.....	32
Figura 4. Formas de muestreo sistemático.....	35
Figura 5. Formas de muestreo combinado	36
Figura 6. Muestreo con barreno y pala	37
Figura 7. Descarte por cuartos opuestos	38
Figura 8. Localización del área de estudio.....	44
Figura 9. Variación de caudal por hora.....	56
Figura 10. Volumen de Agua y Lodo Dragado.....	58
Figura 11. Esquema de la planta de tratamiento de material de dragado de la Laguna de Colta.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Muestreo de lodo directamente de las celdas de depósito de material dragado.....	2
ANEXO 2. Muestreo de material dragado directamente desde la draga	3
ANEXO 3. Determinación de superficie a utilizarse para diseño de la Planta de Tratamiento de los Lodos de Dragado de La Laguna de Colta.....	3
ANEXO 4. Filtración de material dragado para determinación de volumen de lodo a tratar.....	4
ANEXO 5. Resultados caracterización de lodos	5
ANEXO 6. Resultados caracterización Físico-Química de Agua de dragado	6
ANEXO 7. Resultados de caracterización microbiológica de Agua de dragado.....	7
ANEXO 8. Registro de horario de trabajo de la draga	7
ANEXO 9. Características Técnicas de la Dragas	7
ANEXO 10. Esquema de Planta de Tratamiento para los Lodos de Dragado de la Laguna de Colta	7

RESUMEN

Se diseñó la Planta de Tratamiento para los Lodos de Dragado de La Laguna de Colta, Cantón Colta, Provincia de Chimborazo como parte del proceso de recuperación de este cuerpo hídrico.

Se caracterizó el lodo dragado de la laguna de Colta en base a especificaciones establecidas en Standard Methods y EPA, los análisis presentaron resultados de potasio >125 mg/kg y un pH de 8.06. A su vez se caracterizó el agua del afluyente de dragado utilizando métodos especificados en APHA/AWWA/Standard Methods, mostrando parámetros iguales a una: DQO de 486 mg/L, DBO₅ 120 mg/L, Coliformes fecales de 4.7×10^5 UFC/100 ml y Coliformes totales de 1.7×10^6 UFC/100 ml; para la medición de caudal se empleó el método de aforo, en un recipiente de 16 L graduado, por un período de cinco horas (tiempo de trabajo de la draga), se determinó un caudal de 55 L/s; mediante el uso de GPS se realizó el levantamiento topográfico para la determinación de la superficie a emplearse. Con los resultados de los análisis se determinó los componentes que se ubicaron en la planta de tratamiento, direccionando el diseño al tratamiento del material sólido para ser empleado con fines agrícolas, cumpliendo con lo establecido en la normativa ambiental TULSMA, Libro VI, Anexo 2; y también se realizó un tratamiento del agua adicional con el objetivo de posibilitar su retorno al cuerpo hídrico original. Por lo cual se considera en este diseño estructuras como: caja de revisión, rejillas, tanque de igualación, sedimentadores primario y secundario, tanque de aireación, digestor de lodos y eras de secado, las mismas que se encargarán de entregar una remoción del 40% de DBO y DQO y un valor regulado de pH y potasio.

Con el diseño de la Planta de tratamiento de Lodos de Dragado se logrará cumplir con la normativa ambiental en lo que se refiere a uso de suelo y agua. Por lo que se recomienda al GAD Municipal de Colta ejecutar el proyecto para la conservación y manejo sustentable del patrimonio natural y su biodiversidad terrestre y acuática.

SUMMARY

It been designed a Sludge Dredging Treatment Plant at the Colta Lake, Colta Town, Chimborazo province as part of there covery to this hydric resource.

It was characterized the dredge sludge al the Colta Lake based in establish specification by Standard Methods and EPA, the tests present a potassium result >125 mg/kg and a pH of 8.06. At the same time it was characterized the water tributary dredged using specify methods of APHA/AWWA/Standard Methods, showing as equal parameters as DQO of 486 mg/L, DBO₅ 120 mg/L, Fecal coliforms of 4.7×10^5 UFC/100 ml and Total coliforms of 1.7×10^6 UFC/100 ml; to the flow measurement was used the capacity method, in a 16 L graduated container, for five hours period (dredge working time), it was determined a 55 L/s flow; by using the GPS was taken the topographic coordinates to determine the surface to use. Whit the test results was determined the component found in the treatment plant, pointing to design and to the treatment of solid material to be use in agriculture purposes, meeting the environmental regularization establish by TULSMA, Book VI, Annex 2; it was performed an additional water treatment with an object to enable to return at original hydric resource. So in this design it is been consider structures like: case review, grids, , homogenizer tank, primary and secondary sedimentation tanks, aeration tank, sludge digester, drying boxer, those ones will be in charge to deliver a 40% removal of DBO and DQO and regulated value of pH and potassium.

With the design of sludge dredging treatment plant will get and follow the environmental regularization in what conserve water and ground use. For what is recommended to GAD Municipal de Colta to execute the project to the conservation sustainable manages of the natural patrimony and the terrestrial and aquatic biodiversity.

INTRODUCCIÓN

La Laguna de Colta tiene una extensión de 2149 has. de las cuales 204 has. corresponde a la laguna en sí. Alrededor de la misma se encuentran once comunidades y tres barrios que corresponden a dos juntas parroquiales; la de Santiago de Quito y la de Sicalpa que cuentan con una población de 2939 habitantes.

El recurso hídrico natural ha ido cambiando debido a distintas circunstancias, sin embargo de la mano de estos cambios ha ido un mayor control legislativo y presión ambiental, que ha llevado a que se contemple la necesidad de construir una planta de tratamiento de los lodos contenidos en la fuente, extrayendo la materia sólida que pudiera ser utilizada como material de compostaje en distintos suelos y a su vez permita que el efluente pueda ser vertido nuevamente en el cauce.

La Laguna de Colta es un sistema natural vulnerable; debido a que está expuesta a numerosos daños ambientales tales como son la sequía, desertificación, proceso de eutrofización entre otros problemas ambientales, lo cual produce efectos de gran impacto, como es el hecho de que los suelos que se encuentran a orillas de la laguna sufran escorrentía debido a las lluvias, y a su vez, estos sedimentos se van acumulando afectando a la vida acuática, ya que disminuye el nivel de nutrientes del agua y afecta a la microfauna característica la misma, que a su vez constituye una importante fuente de alimento para las aves que habitan en la zona.

El incremento de las macrofitas en la laguna es uno de los resultados del proceso de erosión, cuando terminan su ciclo de vegetación provocan una importante reducción de la cantidad de oxígeno en la laguna lo que a su vez afecta a la fauna y flora existente.

La Kultakucha ha sido objeto de pocos estudios e investigaciones científicas. Se conocen trabajos muy específicos como los realizados por Greegor (1967), Steinitz-Kannan (1981) y

Colinvaux (1984). Estos trabajos, a pesar del tiempo en que fueron realizados, nos aportan una información valiosa para evaluar la evolución de la laguna en algunos aspectos, por ellos estudiados. Steinitz-Kannan (1981) señala que la laguna de Colta presenta un fondo casi plano con una profundidad homogénea de 3.5 m en la mayoría de sus puntos. Las características de elevadas pendientes, la deforestación y el limitado empleo de técnicas de conservación, son causas evidentes de los fuertes procesos erosivos a que está sometida la cuenca desde hace tiempo.

Se puede constatar que entre 1962 y 1989 ha existido un marcado decrecimiento del espejo de agua libre de totoras, proceso que se ha hecho más lento entre los años 1989 y 2000. Un proceso inverso ha sufrido el área de totorales, el cual ha crecido más aceleradamente en el mismo límite de tiempo. Esto se ha podido verificar gracias los análisis multitemporales y batimétricos de evolución de la Laguna que se han realizado como parte del proyecto de recuperación de la misma.

Los sedimentos de la laguna contienen un porcentaje entre 3 y 5 % de materia orgánica, que podrían ser utilizados en los predios o terrenos erosionados o infértiles aledaños a la laguna o en el sitio que la población requiera utilizar con fines de mejoramiento para actividades agropecuarias por medio de la extracción, evacuación y disposición de sedimentos con la draga.

JUSTIFICACIÓN

Ante la importancia de alcanzar un equilibrio por medio de la recuperación y restauración de los ecosistemas existentes tanto en la Laguna de Colta como en su entorno, el GADM de Colta ha considerado la necesidad de proponer alternativas de solución que permitan lograr este objetivo.

La Laguna de Colta constituye un importante lugar turístico de la Provincia de Chimborazo, es fundamental que el espacio en donde ésta se encuentra ubicada y la propia Laguna esté en condiciones aptas para las diversas actividades recreativas, respetando de esta manera lo que se establece en el Título II, Capítulo Segundo, Sección Segunda; Art. 14 de la Constitución Ecuatoriana, en el que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

El implementar un sistema de tratamiento para los lodos de dragado de la Laguna de Colta es fundamental para evitar una eventual contaminación ambiental, la misma que puede conllevar a la aparición de vectores como insectos o roedores, lo que a su vez afecta a la salud de la población y produce un grave impacto visual en cuanto al espacio recreativo; además con el compromiso que adquiera con esta obra el GADM-Colta se conseguirá respetar las exigencias políticas y legislación de nuestro país y evitar posibles sanciones.

Con el compromiso del Ing. Hermel Tayupanda, Alcalde del cantón Colta, así como el Departamento de Servicios del GADM-Colta; quienes proporcionarán las facilidades en el aspecto técnico, logístico y presupuestario para el desarrollo del proyecto con la finalidad de cumplir sus metas en cuanto a servicio a la comunidad de dar una disposición apropiada a los lodos de dragado de la laguna para que sean tratados del modo más adecuado logrando que éstos se puedan utilizar como compost en actividades agrícolas.

La importancia de este proyecto radica en que por medio de su ejecución, se logrará preservar los distintos ecosistemas existentes en la Laguna de Colta y sus alrededores; adicionalmente, la presente investigación constituye un importante aporte como material guía y de información para la ESPOCH y la comunidad en general.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar un sistema de tratamiento para los lodos de dragado de la laguna de Colta, ubicada en el Cantón Colta;

ESPECÍFICOS

- Evaluar el proceso de dragado de los lodos de la Laguna de Colta.
- Realizar la caracterización físico, química y microbiológica de los lodos de dragado de la Laguna de Colta.
- Seleccionar los sistemas de tratamiento más adecuados.
- Dimensionar el sistema de tratamiento de los lodos de dragado.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA

Todos los cuerpos de agua se encuentran interconectados, desde la atmósfera hacia los océanos por medio del ciclo hidrológico. Los principales cuerpos de agua que participan en dicho ciclo son:

Ríos: Éstos suelen ser llamados corrientes, su principal característica es su flujo unidireccional con una velocidad relativamente alta que varía entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es variable ya que depende de las condiciones climáticas y las características del área de drenaje.

Lagos: Este tipo de sistema acuático presenta una velocidad que varía entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie), lo cual representa una velocidad relativamente baja. Por lo cual el agua contenida en este sistema permanece dentro del mismo en un rango de tiempo que va desde días hasta varios años. En cuanto a las características que se presentan en la calidad del agua, ésta se comporta de acuerdo al estado trófico que presente y considerando los períodos de estratificación.

Aguas subterráneas: En los acuíferos el flujo de agua tiene una velocidad entre 10^{-10} y 10^{-3} m/s por lo que se presenta estable en este aspecto tanto como en dirección. Las velocidades que se presentan principalmente están influenciadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato.

Existen otro tipo de cuerpos de agua de carácter transitorio que se caracterizan por su capacidad hidrodinámica. Estos son:

Embalses: Estos son considerados como cuerpos de agua que presentan características ubicadas entre lagos y ríos, y tanto su hidrodinámica como la calidad del agua aquí ubicada dependen de las reglas de operación.

Ciénagas: Son ecosistemas considerados cuerpos de agua intermedios entre un lago y un acuífero freático.

Estuarios: Son sistemas acuáticos intermedios entre río y mar.

La variedad de regímenes hidráulicos que se presentan en los distintos cuerpos de agua hace que estén totalmente caracterizados por el tamaño y el estado climático que tenga la cuenca. En el caso de los ríos es la variabilidad del caudal. En los lagos y embalses lo importante es el factor de residencia (estado trófico) y su régimen térmico, mientras en las aguas subterráneas importa altamente el grado de saturación del suelo. (1)

1.2 CALIDAD DEL AGUA

La precipitación en cualquiera de sus formas contiene muy pocas impurezas, el agua que se precipita viene cargada de minerales, gases y otras sustancias; sin embargo no posee contenido bacteriano.

A partir de que la precipitación llega a tocar la tierra ésta se encuentra expuesta a múltiples oportunidades para que se introduzcan sustancias minerales y orgánicas, microorganismos y otras formas de contaminación. En el recorrido del agua sobre la tierra puede arrastrar restos de suelo. Esto se puede verificar en las aguas que presentan turbiedad. También arrastra partículas de materia orgánica y bacterias. A medida que el agua se introduce en los suelos a través de distintos niveles del manto freático, la mayor parte de las partículas o

sólidos en suspensión se retienen por la filtración y esta filtración natural puede ser parcialmente eficaz para la remoción de bacterias y otros materiales particulados; sin embargo, las características químicas del agua pueden variar considerablemente cuando entra en contacto con depósitos minerales.

El uso generalizado de productos que se producen de modo sintético tales como pesticidas e insecticidas, han acentuado el problema de polución del agua, ya que se sabe que muchos de estos materiales son altamente tóxicos, mientras otros tienen características que de algún modo interfieren con el uso del agua, aun cuando éstos se encuentren en concentraciones relativamente pequeñas.

Los agentes que alteran la calidad del agua, a medida que ésta se desplaza sobre, o debajo de la superficie de la tierra, pueden clasificarse en tres grupos

- ✓ **Físicos:** Referentes a la calidad del agua para el uso doméstico y que por lo general están ligados con la apariencia de agua, su color o turbiedad, temperatura, sabor y olor en particular.
- ✓ **Químicos:** Los agentes químicos que afectan el agua se manifiestan mediante las reacciones que se manifiestan por ejemplo en aguas blandas o duras a causa del lavado de ropa.
- ✓ **Biológicos:** Al hablar de factores biológicos se toca un tema de importancia en cuanto a la salud pública, ya que pueden modificar las características físicas y químicas del agua.

Es por ello que la explotación de un sistema de agua, conlleva a un proceso de análisis del recurso, de tal modo que se puedan contemplar todos los factores que puedan dañar el recurso hídrico.

1.2.1 Características físicas

Antes de poder utilizar el recurso hídrico, es necesario que este se vea libre de ciertas impurezas que sean notorias a la vista, olfato y gusto. Dentro de las características físicas del agua están:

- ✓ **Turbiedad:** la presencia de materiales en suspensión tales como arcilla, limo, materia orgánica finamente dividida, y otras materias inorgánicas en el agua, se conoce como turbiedad. Cuando ésta excede las cinco unidades, es fácilmente notable en un vaso con agua.
La arcilla u otras partículas inertes en suspensión en el agua pueden no ser nocivas a la salud, pero el agua que las contenga puede requerir procesos de potabilización (o tratamiento), para que sea adecuada de acuerdo al uso que se pretenda darle.
- ✓ **Color:** Las materias orgánicas disueltas provenientes de la descomposición vegetal, así como de determinadas materias inorgánicas, son los causantes de color en el agua. Ocasionalmente el color además puede ser atribuido a las algas o al crecimiento de microorganismos acuáticos. Pese a que el color no es una característica objetable para la salud, es bastante rechazable por razones estéticas, sugiriendo así el uso de procedimientos adecuados para poder eliminar dicha característica.
- ✓ **Sabor y olor:** Las materias extrañas tales como son los compuestos orgánicos, sales inorgánicas o gases disueltos, pueden ocasionar sabores y olores en el agua. Estas materias pueden provenir de fuentes agrícolas, domésticas o naturales. Las aguas que sean aceptadas para su uso, por tanto, deberán estar libres de dichas características, según su utilización. El conocimiento relativo a la calidad química del agua dependiendo de la fuente de la que ésta proviene; es sumamente importante para poder establecer los respectivos procedimientos de tratamiento a utilizar para eliminar dichas características.

- ✓ **Temperatura:** Las aguas que son recomendadas como aptas para su consumo son aquellas que no poseen fluctuaciones en su temperatura más que de unos cuantos grados. Las aguas que generalmente cumplen con este requisito son aquellas provenientes del subsuelo y la superficie. La mayoría de las personas considera que la temperatura idónea para el consumo es de entre 10° y 15.5° C.

1.2.2 Características Químicas

Debido a la naturaleza que tienen las distintas rocas que forman la corteza terrestre, no sólo la cantidad sino también las características del agua que puede recuperarse se ven afectadas. En el trayecto de percolación del agua desde la superficie hacia el manto freático, se disuelven porciones de los minerales contenidos en la corteza terrestre y en las rocas que la conforman; por lo tanto las aguas del subsuelo suelen tener mayor contenido de minerales que las aguas a nivel superficial.

El análisis químico de un abastecimiento de agua, incluye por lo general, la determinación de: dureza total, alcalinidad total, pH y la presencia de sulfatos y cloruros. En algunas zonas, pueden ser necesarias mayores investigaciones que conduzcan al hallazgo de ciertos compuestos como radicales nitrógeno, hierro, manganeso, fluoruros entre otras sustancias.

1.2.3 Características biológicas

El agua para consumo humano debe estar libre de organismos que generen enfermedades. Estos organismos incluyen bacterias, protozoarios, virus y helmintos (lombrices).

1.2.3.1 Contaminación del agua de los abastecimientos

Algunos organismos causantes de enfermedades en el hombre se originan con las descargas fecales de individuos infectados. Es por ello que es necesario que se realicen análisis bacteriológicos específicos para poder determinar la presencia de algún tipo de

microorganismo en el agua. La prueba más utilizada es la de identificación de coliformes, que están siempre presentes en los desperdicios fecales, ligado a los organismos causantes de la enfermedad. En cuanto a coliformes, estos se encuentran habitando el tracto intestinal del ser humano, y también se encuentran en la mayoría de animales domésticos, en ciertas especies de animales salvajes. (2)

1.3 IMPORTANCIA DEL RECURSO AGUA

El agua es un elemento esencial para la vida, sin ella sería imposible para el hombre el sobrevivir, ya que desde la antigüedad toda comunidad ha buscado establecer sus asentamientos cerca de una fuente de agua.

Las fuentes de agua a medida que ha ido transcurriendo el tiempo han sido gradualmente contaminadas y en su momento fueron las causantes de un gran número de epidemias que diezmaron ciudades enteras en la antigüedad. Pasaron varios años hasta que el hombre pudo darse cuenta de que el agua que estaba consumiendo era la causante de las enfermedades que en ese entonces adquirían. “Es así que sólo a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX se implementaron procesos para poder desinfectar el agua que se consumía”. (1)

Una vez que se dio paso al desarrollo de la humanidad, se generó la descarga de aguas residuales industriales y domésticas, las cuales dieron paso a la contaminación de recursos hídricos, dañando los ecosistemas. Por lo cual se generó la necesidad desinfectar el agua que se consumía.

Actualmente la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de las poblaciones. Es por ello, que la calidad del agua es uno de los principales temas que aborda la Ingeniería para:

- ✓ Diagnosticar los problemas relacionados con la calidad del agua.
- ✓ Relacionar los problemas de calidad con los diferentes usos del agua.

- ✓ Juzgar qué variables de calidad del agua se necesita controlar y los medios o recursos para que esto se lleve a cabo.

1.4 RECURSOS HÍDRICOS EN EL ECUADOR

El Ecuador presenta un promedio anual en precipitación de 2274 mm, lo cual representa 645 km³/año en el área continental. Ecuador cuenta con dos vertientes hidrográficas, por un lado la del Pacífico y por el otro lado la del Atlántico o Amazónica. El país cuenta con 31 Sistemas Hidrográficos en los cuales se encuentran las Islas Galápagos, además de recursos hídricos renovables de alrededor de 432 km³/año.

1.4.1 Principales vertientes hidrográficas de Ecuador

Ecuador no cuenta con el aporte prácticamente de ninguna fuente hídrica adicional proveniente de ríos de los países limítrofes. Alrededor de 10,4 km³/año es todo cuanto se puede utilizar del recurso hídrico subterráneo que se ubica en la vertiente del pacífico. En el caso de la vertiente amazónica no se ha realizado estudios que presenten una estimación de los recursos subterráneos. Mientras tanto el recurso hídrico que es explotado en Ecuador se utiliza para fines de consumo doméstico e industrial.(5)

Tabla 1. Vertientes Hidrográficas-Ecuador

Vertiente	Principales Cursos Hídricos	Superficie drenada ¹ (km ²)	Precipitación media anual (mm)	Escorrentía media anual (mm)	Evaporación media anual (mm)
Pacífico	Guayas Esmeraldas Catamayo Chira	121 279	1 543	950	593
Amazonas	Napo Santiago Pastaza	139 634	3 006	2 256	750
Islas Galápagos		8 006	600	197	403
Total		268 919 ¹	2 274	1 606	668

FUENTE:http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecuador/indexesp.stm

1.5 Principales problemas que afectan los cuerpos de agua

Dentro de los principales problemas que tienen los cuerpos de agua están principalmente:

1.5.1 Eutrofización

Es un proceso natural de envejecimiento de los lagos, éste suele avanzar sin necesidad de tener contribución por parte del hombre. La contaminación sin embargo; puede acelerar el proceso de envejecimiento natural y acortar de modo considerable la vida del receptor acuático.

La eutrofización se basa en el paso progresivo de una etapa a otra y que se encuentra basada en el nivel de productividad. Uno de los principales problemas que genera este fenómeno es la sedimentación la cual contribuye al envejecimiento del lago. La vegetación en la orilla así como las plantas acuáticas superiores utilizan parte de los nutrientes, y empiezan su crecimiento de manera abundante. De este modo en la orilla del cuerpo de agua se van acumulando las plantas y sedimentos en el fondo, por lo cual el lago va perdiendo área de cuerpo de agua por la gran invasión vegetal, llegando incluso a convertir poco a poco el lago en tierra firme.

1.5.2 Fases de eutrofización

Las fases que se pueden presentar en un proceso de eutrofización principalmente son:

- ✓ La proliferación de algas en la superficie disminuye la transparencia del agua, lo cual disminuye la capacidad de que los vegetales ubicados en zonas profundas puedan llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.
- ✓ El aumento de vegetales lleva consigo el gran consumo de oxígeno por parte de los mismos, disminuyendo la concentración del contenido de oxígeno en el agua lo cual a su vez perjudica a la biota del lago.

- ✓ El proceso de eutrofización se acelera en el momento en que los vegetales que se encuentran creciendo en el lago, se precipitan y se acumulan en el fondo del cuerpo de agua. La descomposición de esta materia acumulada también trae consigo un gran consumo de oxígeno, lo cual hace que se consuma el contenido de oxígeno en el fondo y que aparezcan bacterias que no necesitan de este recurso para vivir, pero que producen gases malolientes.
- ✓ En la fase final se produce la muerte de los animales que dependen del desarrollo y estabilidad del lago y por ende el lago también muere.

1.5.3 Sedimentación

Es la adición de partículas de suelo a los cuerpos de agua, debido a acciones naturales o por actividad humana. La sedimentación a menudo acelera el envejecimiento de los lagos, lo cual contribuye con la degradación de los cuerpos acuáticos y de los hábitats que aquí se desarrollan. La acumulación de sedimentos en canales de corriente puede concluir en una reducción de la capacidad de flujo, así como inundaciones y aumento en los niveles de turbidez. En base a las características que se presenten en el agua superficial y sedimentos, podrá ocurrir el intercambio de nutrientes entre estos.

Este fenómeno ecosistémico, este tiene dos efectos sobre la columna de agua: el primero es amortiguar el aumento de nutrientes que se manifiesta por el aporte directo y/o de la descomposición de materia orgánica, ayudando a retener una parte de los mismos. El segundo efecto es la contribución a compensar el déficit de nutrientes, bajo etapas en las que existe una elevada demanda biológica, de tal modo que se liberan las formas que han sido (Carmouze 1994).

Según las características que presenten los sedimentos se podrán establecer la velocidad de acumulación de los mismos y a su vez muestra el nivel de actividad del lago como centro receptor de una cuenca además de participar como centro de actividad biológica.

Para saber cuál es el nivel de distribución de organismos y comunidades de macro invertebrados que se pueden distribuir en el sistema lacustre, el mejor método de determinación de tal información serán las características de la granulometría del sedimento. (6)

1.6 TRATAMIENTO DE LODOS

Si se trata de tratamiento de lodos, estamos hablando de tratamiento que incluye procesos primarios y secundarios, que a su vez incluyen procesos biológicos aerobios o anaerobios. Para tratar el lodo se desarrolla una operación progresiva de reciclado de lodo biológico generado a lo largo del proceso de tratamiento de agua.

En cuanto al diseño de las plantas de lodos activados este se basa en el consumo de la DBO soluble, el cual resulta de un proceso de oxidación biológica que se presenta en el reactor. En cuanto a la DBO insoluble, esta se separa por medio del proceso de sedimentación primaria y secundaria. (8)

1.6.1 VOLUMEN DE LODOS

El volumen de los lodos es muy variable, de acuerdo a las características que éstos presentan; depende de:

- ✓ Los sólidos insolubles de menor magnitud (menores de 0.2 mm, tierras).
- ✓ Los microorganismos inertes que se hayan obtenido en el proceso de depuración de las aguas: no menos del 90 por 100, y, en todo caso, la cantidad necesaria para que la demanda biológica de oxígeno residual no exceda de 40 ppm.
- ✓ La materia orgánica excedente (no absorbida por los microorganismos).

Todos estos datos se tomarán por su peso, en materia seca, para deducir su volumen en función de su peso específico, que podemos estimar en: 2.0 para minerales (tierras), 1.2 para microorganismos y para materia orgánica.

Dividiendo los pesos conocidos por los pesos específicos obtendremos el volumen neto de la materia seca, sin contar los espacios muertos intersticiales. Pero lo que llega al tratamiento de lodos no es ni mucho menos, materia seca; tiene un importante contenido de agua, no del todo depurada, que se contamina en exceso al contacto de estas materias.

1.6.2 Espesamiento de lodos

1.6.2.1 Espesamiento por gravedad

El espesado se lleva a cabo en un tanque similar al de un sedimentador convencional. Normalmente son de forma circular. El fango diluido se conduce hacia una cámara central, donde este sedimenta y compacta, y el fango alimentado se extrae por la parte inferior del tanque. El proceso de recogida de fango del tanque se da por un sistema de rascadores profundos o piquetas verticales que remueven el fango lentamente, promoviendo la apertura de canales para proporcionar la salida al agua y favoreciendo la densificación. El fango espesado que se recoge en el fondo del tanque se bombea a los digestores o equipos de deshidratación en función a las necesidades; por lo que, es necesario disponer de un determinado volumen de almacenamiento.

1.6.3 Pretratamiento

En este proceso primero se debe realizar la remoción de arenas, material inorgánico, aceites y grasas excesivos antes de poder llevar a cabo las siguientes actividades.

1.6.3.1 Tanque de aireación

Este debe tener ciertas características que no solo permitan tratar los lodos extraídos, sino también que contribuyan a la purificación del agua contenida del material extraído del proceso de dragado.

- ✓ Adecuada concentración de biomasa.
- ✓ Proceso de homogenización adecuado, de tal manera que se logre una buena mezcla del agua residual y lodo biológico.
- ✓ Agregar suficiente oxígeno para poder cumplir con la demanda y la capacidad de ajuste de tal manera que se pueda ajustar a las distintas condiciones de carga así como operativas.
- ✓ Velocidad de corriente adecuada en el fondo del tanque debe ser de 15 cm/s para lodos livianos y de 30 cm/s para lodos pesados, de este modo se evita que se presente la formación de grumos de arena en el fondo.
- ✓ Correcto funcionamiento de accesorios de aireación bajo condiciones operativas, con posibilidad de operar en ciertos intervalos, en caso de presentarse desnitrificación.
- ✓ Buena capacidad de ajustarse al movimiento y afluencia de agua residual así como sus características.
- ✓ Optimizar el consumo de energía para ejecutar la adición de oxígeno, circulación y homogenización.
- ✓ Los costos para la construcción y operación deben ser relativamente económicos.
- ✓ Debe evitar la generación de molestias tales como ruido, olores o vibraciones.
- ✓ Garantía en la seguridad al momento de operar el tanque.

Cada una de las características anteriormente mencionadas debe cumplirse bajo las distintas consideraciones de construcción operación, sistema de aireación y suministro de energía. El tanque debe garantizar las distintas condiciones (anaerobia, aerobia y anóxica), así como

condiciones de paso (longitudinal, formación de cascadas, tanque de circulación) para la operación seleccionada.(9)

1.6.3.1.1 Tamaño

De acuerdo al tipo de adaptación bajo la cual se desee trabajar el sistema de lodos activados, el tamaño del tanque de aireación será elegido por cálculos netamente basados consideraciones tales como: el caudal, el grado de tratamiento a efectuar, la concentración de sólidos suspendidos y carga de DBO, solo de este modo se logrará justificar el tamaño del tanque.

1.6.3.1.2 Profundidad del líquido

En general las profundidades del líquido no deben ser menores a 3.05 m ni mayores de 4.57 m, excepto en casos de diseño especial. (9)

1.6.3.1.3 Control de cortos circuitos

Para lograr un control positivo del cortocircuito a través del tanque, es necesario tomar en cuenta la forma del mismo y la instalación del respectivo equipo de aireación.

1.6.3.1.4 Entradas y salidas

Las entradas y salidas para cada una de las unidades existentes de aireación deben estar adecuadas de la mejor manera mediante el empleo de los accesorios adecuados como válvulas, compuertas, placas de retención, vertederos u otros mecanismos que permitan controlar el nivel de caudal capaz de pasar a cada una de las unidades existentes y que del mismo modo permitan mantener un nivel de líquido constante. Por lo cual las características hidráulicas deben permitir a su vez un manejo adecuado del caudal máximo en cualquier unidad del tanque.

1.6.3.1.5 Conductos

Los accesorios como tuberías o canales que permitan el paso de líquido con sólidos en suspensión deben estar diseñados para mantener velocidades tales que permitan su propia limpieza, y que contribuyan a mantener las velocidades de flujo dentro de lo que contemplan los límites de diseño.

1.6.3.1.6 Aparatos medidores

Deben instalarse aparatos que ayuden a medir los caudales de agua residual sin tratar, el efluente primario, el lodo que retorna y el aire que se transmite a cada unidad del tanque. En aquellas plantas de tratamiento que manejan 60L/s o mayores, los mencionados aparatos deben presentar la totalidad de caudal y registrarlo. Diseño debe contemplar la posibilidad de que el lodo de retorno pueda mezclarse con el agua residual sin tratar o también denominado efluente primario, en cierto punto de tal modo que se pueda medir el licor mezclado a cada unidad de aireación.

1.6.3.1.7 Borde libre

Un tanque de aireación debe tener un borde libre que corresponda a valores no menores a 40 cm. Debido a que se debe encontrar aprobado para el control de espuma. (9)

1.6.3.1.8 Requerimientos de nutrientes

Se considera al nitrógeno y fósforo como los principales nutrientes. Por lo cual deben cumplir con la siguiente relación en cuanto a concentraciones en el agua residual a tratar:

(9)

DBO: N: P

100: 5: 1

1.6.3.1.9 Control de organismos filamentosos

Si se manejan niveles medios o altos de complejidad es necesario que se evalúe como medida necesaria el tener un sistema de control de organismos filamentosos. Por lo que los manuales de operación deben tener las principales metodologías para control de dichos microorganismos.

1.6.3.1.10 Rendimiento

Para poder establecer el rendimiento del sistema de lodos activados, el diseñador del mismo puede tomarse la libertad de seleccionar la modificación en el proceso que considere más adecuada, pero tomando en cuenta que el cambio seleccionado garantizará la eficiencia en cuanto a operación, minimización de impactos relacionados con ruido y olores, así como el manejo de lodos y eficiencia en costos.

La eficiencia en remoción de DBO, considerada de acuerdo a distintos tipos de modificación al proceso se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2. Características de operación de los procesos de lodos activados

Modificación al proceso	Modelo de flujo	Sistema de aireación	Eficiencia en remoción de DBO
Convencional	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95
Completamente mezclado	Flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95
Aireación Escalonada	Flujo pistón	Aire difuso	85-95
Aireación modificada	Flujo pistón	Aire difuso	60-75
Estabilización por contacto	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	80-90

Aireación extendida	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	75-95
Aireación de alta tasa	Flujo continuo reactores en serie agitados	Aireadores mecánicos	85-95
Oxígeno puro	Flujo continuo reactores en serie agitados	Aireadores mecánicos	85-95
Zanjón de oxidación	Flujo pistón	Aireador mecánico (tipo eje horizontal)	75-95
Reactor SBR	Flujo intermitente reactor agitado	Aire difuso	85-95

Fuente: Metcalf & Eddy; Ingeniería de Aguas Residuales; Pp 624.

1.6.3.2 Tanque de sedimentación secundaria

Se forma la unidad operativa a partir del trabajo conjunto de tanque de aireación y tanque de sedimentación secundaria, los cuales ejercen influencia uno sobre el otro. Los tanques de sedimentación secundaria se encargan de separar el lodo activado de aquella agua residual que ya ha sido depurada bajo condiciones biológicas.

Para el dimensionamiento, así como para el diseño y la dotación a realizarse en estos tanques es necesario tener en cuenta características tales como:

- ✓ Mediante proceso de sedimentación se deberá separar el lodo activado de las aguas residuales.
- ✓ Compactar el lodo activado y removerlo para que pueda retornar al tanque de aireación.
- ✓ Que pueda almacenar de modo temporal el lodo activado, a causa de un incremento en el caudal; bajo condiciones de lluvia. Por lo que se requiere un espacio para el almacenamiento de material sólido con este objetivo.
- ✓ Impedir condiciones de velocidad con las cuales se pueda evitar el arrastre de lodos.

1.6.3.2.1 Geometría

El sedimentador secundario es recomendable que tenga forma rectangular o circular. En el caso de ser circular deberá tener un diámetro entre 3 y 60 m y el radio no debe exceder cinco veces la profundidad del agua (9). Para diámetros mayores o iguales a 27 m se deberá considerar una profundidad entre 4.9 y 6 m. Se debe además colocar pantallas verticales desde el fondo e inclinados desde las paredes para prevenir la salida de sólidos desde el tanque. Para tanques rectangulares se recomienda que la longitud no exceda de 10 a 15 veces la profundidad. Si el ancho del tanque es mayor a 6m, entonces se utilizará un mecanismo colector múltiple de lodos. De forma independiente a la forma que posea el tanque es necesario que el colector presente las características siguientes:

- a) Alta capacidad, ya que si existe una elevada tasa de recirculación de lodos no exista la generación de canales en la capa superior del líquido a través del lodo.
- b) Debe tener un mecanismo resistente para poder transportar y remover lodos densos que se pueden concentrar en el tanque de sedimentación en períodos de falla mecánica o en el suministro de energía.

1.6.3.2.2 Tasa de desbordamiento superficial

En caso de no ser posible realizar pruebas de sedimentación que determine la tasa de desbordamiento superficial, se recomienda tomar en cuenta los siguientes valores de acuerdo al tratamiento que lo preceda y según el caudal que se maneje.

Tabla 3. Valores de TDS recomendadas

Tipo de tratamiento	Tasa de desbordamiento superficial (m ³ /m ² /d)	
	Caudal promedio	Caudal pico
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	16-32	40-48
Sedimentación siguiendo un proceso de	16-32	40-48

lodos activados con oxígeno		
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	8-16	24-32
Sedimentación seguida por filtros percoladores	16-24	40-48
Sedimentación seguida por biodiscos	16-32	40-48
Efluente secundario	16-24	32-40
Efluente nitrificado		

Fuente: NORMA RAS 2000., Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, Pp 66.

1.6.3.2.3 Tasa másica de carga

Esta debe calcularse dividiendo la tasa de sólidos totales aplicados, (kg/día), entre el área superficial del tanque. (9)

Se usará los valores de TMC para condiciones de caudal promedio y pico:

Tabla 4. Tasas de carga másica

Tipo de tratamiento	Tasa de desbordamiento superficial (m3/m2/d)	
	Caudal promedio	Caudal pico
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	98-147	245
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	123-172	245
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	25-123	168
Sedimentación seguida por filtros percoladores	72-123	192
Sedimentación seguida por biodiscos	100-144	245
Efluente secundario	72-123	192
Efluente nitrificado		

Fuente: NORMA RAS 2000., Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, Pp 67.

1.6.3.2.4 Profundidad del tanque

Se debe tomar en cuenta los siguientes valores de profundidad de agua en el tanque de sedimentación:

Tabla 5. Valores de profundidad de agua

Tipo de tratamiento	Profundidad (m)
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de filtros percoladores	3.0-3.6
Sedimentación siguiendo un proceso de biodiscos. Efluente secundario Efluente nitrificado.	3.0-3.6 3.0-3.6

Fuente: NORMA RAS 2000., Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, Pp 67.

1.6.4 PROCESO DE DIGESTIÓN

1.6.4.1 AEROBIA

En este proceso, debido a que el suministro de sustrato disponible (alimento) es muy bajo, los microorganismos empiezan a consumir su protoplasma para obtener la energía que

necesitan en las reacciones celulares. Cuando la energía es obtenida de las células, entonces dice que los microorganismos se encuentran en fase endógena. Así el tejido celular es oxidado aeróbicamente a dióxido de carbono, agua y amoníaco.

Solo aproximadamente del 75 al 80% de tejido celular puede ser degradado, ya que el 20-25% restante está formado por componentes que por ser inertes no son biodegradables. El amoníaco se oxida a nitrato. Los sólidos suspendidos volátiles que no son biodegradables permanecen en el producto final de este proceso. Considerando la biomasa desechada a un digestor y la fórmula de la masa celular expresada como $C_5H_7NO_2$, los cambios bioquímicos se pueden describir por las siguientes ecuaciones:

Al pasar el nitrógeno orgánico a nitrato se obtiene como resultado un incremento en la concentración de iones de hidrógeno y por ende un decremento en el pH si no es adecuada la capacidad de amortiguación del lodo. En teoría aproximadamente el 50% de esta alcalinidad que se consume por la nitrificación se puede recuperar por desnitrificación. Si el oxígeno disuelto se mantiene en valores bajos (menos de 1mg/L), entonces, la nitrificación no se da. En ciertos casos si la capacidad de amortiguación es insuficiente, esto da como resultado un decremento de pH a valores menores a 5.5, por lo que se puede requerir la instalación de un equipo de alcalinidad para mantener el pH que se desea.

La combinación de lodo activado y lodo primario, es digerida aeróbicamente y ocurren tanto la oxidación de materia orgánica en el lodo como la oxidación del tejido celular. Estos reactores pueden ser operados como si fueran reactores por lote o reactores de flujo continuo.

Existen tres variaciones del proceso que son más comúnmente usadas:

- ✓ Digestión aeróbica convencional: La digestión aeróbica realizada con aire es el proceso más comúnmente usado, depende de factores como la temperatura, reducción de sólidos, volumen del tanque, concentración de sólidos en la

alimentación, requerimientos de oxígeno, requerimientos de energía para mezclado y operación del proceso.

- ✓ Digestión aeróbica con oxígeno de alta pureza y
- ✓ Digestión aeróbica auto térmica.

1.6.4.2 ANAEROBIA

En este proceso los sólidos se combinan, se materializa y se humidifican. Transforma las partículas de fango a un estado soluble o de dispersión en finas proporciones. El proceso de licuefacción es por hidrólisis y se lleva a cabo por enzimas extracelulares, segregadas por los microorganismos en el medio que los rodea, entrando en contacto con la materia orgánica sobre la que actúan. Los productos de la hidrólisis se difunden en el interior de las células y son utilizados para el crecimiento celular y la obtención de energía. La asociación de bacterias, enzimas y materia orgánica determina el grado de actividad que se ha logrado. Esta fase del proceso es a modo de una preparación para la comida, la digestión, la fermentación y la conversión en gases. (3)

La gasificación es un proceso intracelular tan importante como el anterior ya que si no pasase de la primera etapa, los sólidos se transformarían de un estado a otro, pero no serían destruidos. El éxito de la operación depende de la perfecta sincronización de las dos etapas de digestión.

En el proceso anaerobio se distinguen dos tipos de microorganismos: los productores de metano y los productores de anhídrido carbónico. En el caso de los productores de metano estos son extremadamente sensibles al valor del pH; su mayor grado de actividad se produce cuando el pH oscila entre 6.4 y 7.2, fuera de cuyos límites la actividad disminuye sensiblemente.

La temperatura es un factor decisivo en el proceso de digestión anaerobia: a medida que aumenta la temperatura crece rápidamente la actividad de las bacterias. La temperatura

ideal es de 37°C, ya que con ella se consigue un proceso de digestión más rápido. Si la temperatura sigue subiendo se observa una disminución de actividad, hasta llegar a los 40°C en que vuelve a activarse el proceso, con mayor rapidez incluso que en los 37°C. Pero a partir de los 40°C, la actividad disminuye con rapidez hasta anularse. En consecuencia se deben considerar como valores óptimos los comprendidos entre 37°C y 40°C como valores mínimo y máximo.

El mantenimiento de estos límites resulta difícil y exige un mejor cálculo y regulación automática por completo de los aparatos calefactores, mediante termostatos situados en el interior de los digestores. Para poder tener una destrucción de sólidos volátiles debe haber un tiempo de retención suficiente para garantizar esta eliminación.

Los digestores anaerobios son generalmente tanques cilíndricos o rectangulares. Aquellos que son cilíndricos tienen una relación profundidad/diámetro de 0.3 a 0.7 para facilitar la mezcla, fondo cónico que posee pendientes de 1/6 a 1/4 y bocas de extracción de lodos por el centro del cono y uno o más puntos intermedios entre el fondo del digestor y el nivel máximo del agua del digestor. Se recomienda, además, dejar un espacio libre adicional de 0.9 a 1.5 m de longitud para lo que es la acumulación de espuma y como borde libre.

1.6.4.2.1 Selección del tipo de reactor

Los principales factores de operación que se deben considerar es:

- Reacciones cinéticas en el proceso de tratamiento.
- Transferencia de oxígeno.
- Naturaleza del agua residual a tratar.
- Condiciones ambientales locales: Dentro de estas se ubican principalmente la temperatura, pH y alcalinidad. Los cambios en cuanto a temperatura puede afectar la reacción biológica. Mientras el pH y la alcalinidad son un factor que influye en la operación de los procesos de nitrificación.

- Costos de construcción, operación y mantenimiento.

1.6.5 SECADO DE LODOS

1.6.5.1 Filtros Banda

Estos son dispositivos de deshidratación de fangos y alimentación continua que incluyen; acondicionamiento químico, drenaje por gravedad, y aplicación mecánica de presión que ayuda a deshidratar el fango.

1.6.5.1.1 Proceso

En este proceso el fango acondicionado es introducido es una zona de drenaje por gravedad donde se da su espesado. En esta fase se genera un deshidratado por gravedad, fase que va acompañada por un sistema de vacío que favorece el drenaje y ayuda a reducir el desprendimiento de olores. En algunas unidades el fango es expuesto a bajas y altas presiones de tal manera que la variación de esta característica, logra favorecer las cantidades adicionales de agua contenida en el fango. La torta de fango deshidratado se separa en las bandas mediante rascadores.

1.6.5.2 Eras de secado

Éstas son utilizadas para la deshidratación de lodos digeridos. Una vez que éstos ya se encuentran secos, se evacuan o se utilizan para acondicionar suelos. Una de las ventajas es su bajo costo, el escaso mantenimiento que requieren, y el elevado contenido en sólidos que posee el producto final.

1.7 UTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE LOS FANGOS

Si comparamos el valor nítrico de los fangos con el de un abono sintético, hallaremos que se encuentran en desventaja; de todas formas pueden enriquecerse con nitratos, fosfatos y potasa. Pero si se los considera como abono orgánico del mismo tipo que los estiércoles, enriquecidos, además de los aditivos que se han mencionado, se observa una notable superioridad y se tendrá un excelente abono; a sus propiedades químicas suman su capacidad de formar humus.

Si se utilizan fangos no digeridos se corre el riesgo de cierta abundancia de bacterias, que pueden reducirse con estercoleros técnicos, mediante la adición de paja seca y el riego con una débil dilución de ácido nítrico. En defecto en los digestores convencionales, el contenido de nitrógeno desciende del orden de 40 por 100 porque no puede formarse el amoníaco por carencia de aire. Sin embargo es de notar que si se conserva cierta cantidad de agua de digestión, se forma amoníaco por el hidrógeno contenido en esta agua y el nitrógeno de los fangos. En definitiva es preferible el fango digerido aún a riesgo de disminuir en algo el amoníaco.

1.8 TRATAMIENTO DE AGUA

1.8.1 TRATAMIENTO PRIMARIO

1.8.1.1 Caja de revisión

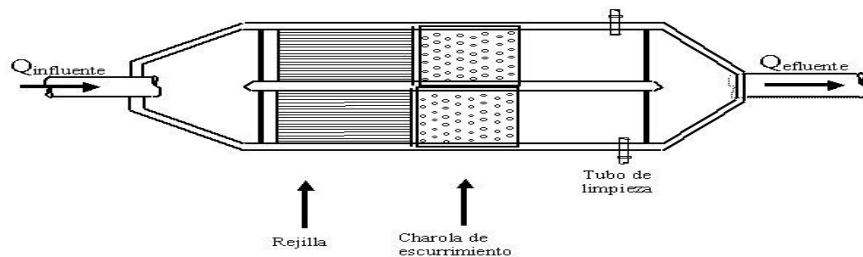
La caja de revisión es un elemento constructivo que ayuda a la evacuación de un caudal determinado de agua por medio de tuberías que permiten que a su vez el caudal sea evacuado o transportado de modo regular.

1.8.1.2 Cribado o rejillas

Este es un sistema de tratamiento en el que el agua residual llega por gravedad. Los materiales sólidos y de gran tamaño tales como son restos de alimentos, harapos, maderas y demás materia orgánica e inorgánica se ven separadas del agua al que se está tratando, al quedar todo este material atrapado en las rejillas, construidas con varillas de hierro.

El emparrillado de las rejillas está inclinado en relación al piso del canal donde este se instala, este sistema de tratamiento puede ser de limpieza manual o mecánica.

Figura 1. Vista Planta De Un Sistema Manual De Rejillas Con Dos Cámaras



Fuente: tierra.rediris.es

1.8.1.3 Tanque de igualación

Los tanques de igualación son estructuras específicamente utilizadas para manejar caudales que son notoriamente variables con el tiempo. Esta característica puede lograr mantener estable y sin daño alguno al sistema de tratamiento debido a que es una de sus principales funciones, y el lograr adaptarse a las oscilaciones permanentes de carga contaminante y caudal es una de sus características.

En caso de que no se empleen reactores de flujo secuencial, el tanque de igualación es ideal para asegurar regulación en cuanto a caudales y características físico químicas por unidad de tiempo antes de ser vertido en el sistema de depuración. El tanque de igualación recibe afluentes variables y las homogeniza mediante el uso de una turbina o mezclador (que

mantiene condiciones aerobias en el tanque) y realiza la descarga de una forma continua mediante el uso de un sistema de bombeo, a caudal constante.

Es así que en términos más generales tendremos como principales características las siguientes:

- ✓ Minimizar y controlar la llegada de caudal así como las características de las aguas residuales.
- ✓ Estabilizar valores de pH.
- ✓ Permitir el flujo constante de caudal al sistema de tratamiento.

1.8.1.4 Sedimentador Primario

Uno de los principales objetivos de esta fase de tratamiento es el remover sólidos suspendidos y DBO. En caso de ser necesario se puede utilizar coagulantes para incrementar la eficiencia de remoción de fósforo, DBO y sólidos suspendidos.

1.8.1.4.1 Geometría

Dependiendo de la cantidad de agua que se desea tratar se deben tomar en cuenta las dimensiones que puede llevar el sedimentador. En el caso de tanques rectangulares la relación de longitud y ancho será entre 1.5 a 1 y 15 a 1. En el caso de sedimentadores circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 60 m, con una pendiente entre 6 a 17%. Se debe tomar en cuenta el sedimentador con mayor área, teniendo en consideración los valores en cuanto a tasa de desbordamiento superficial.

- ✓ Se usa $33\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ para el caudal medio
- ✓ Se usa $57\text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$ para un Caudal pico sostenido por tres horas.
- ✓ Se usa $65\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ para el Caudal pico.

1.8.1.4.2 Tiempo de retención

Debe estar basado en el caudal y el volumen de retención del efluente a tratar. Sin embargo se recomienda un período mínimo de 1 hora para sedimentadores circulares y rectangulares.

1.8.1.4.3 Profundidad

En un sedimentador circular la profundidad recomendada se ubica en un rango de 2.5 a 4 m. Mientras en los rectangulares el rango de profundidad será de entre 2 y 5 m.

1.8.1.4.4 Profundidad de almacenamiento de lodos

Dependiendo del tipo de limpieza que se realice se recomienda una capa de lodos en el fondo de 30 a 45 cm de concentración.

1.8.1.4.5 Entradas y salidas

Las entradas que se diseñen deben ser tomando en cuenta el dispersar la corriente de alimentación, y lograr un flujo de alimentación homogéneo. Las entradas pueden ser similares a vertederos, aunque se usa más un canal de compuertas espaciadas. Se debe considerar una distancia mínima entre la entrada y la salida de aproximadamente 3.0 m con una velocidad de entrada de 0.3 m/s.

Se deberá usar un sistema de deflectores de espumas y materiales flotantes en la salida del tanque en caso de no poseer un sistema de limpieza mecánico. Los vertederos a la salida pueden ser considerados por el diseñador sin embargo en caso de tratarse de una planta con capacidad menor a 4.000 m³/día no deberá ser mayor de 133 m³/m/día y para plantas mayores podrá ser de 500 m³/m/día.

1.8.1.4.6 Rebosaderos

Se debe considerar la forma del tanque ya que de ser rectangular se deberá considerar que el rebosadero debe estar fuera de la región de influencia de las corrientes de densidad o instalar pantallas especiales para evitar el impacto de dichas corrientes.

1.8.1.4.7 Colocación de pantallas

En caso de tener forma circular se debe colocar pantallas circulares y horizontales debajo de la estructura de alimentación de tanques que se alimentan por la zona central. El radio de cada pantalla deberá oscilar entre 10 y 20% por encima del radio de la estructura de alimentación. Mientras en el caso de sedimentadores rectangulares, debe existir una colocación de pantallas con extensión entre 150 y 300 mm ubicadas debajo de los puntos de ingreso que se ubican debajo de la superficie del agua.

1.9 LAGUNA DE COLTA

Se conocen trabajos muy específicos como los realizados por Greegor (1967), Steinitz-Kannan (1981) y Colinvaux (1984). Estos trabajos, por el tiempo en que fueron realizados, aportan una información valiosa para evaluar la evolución de la laguna en algunos aspectos, por ellos estudiados. Steinitz-Kannan (1981) señala que la laguna de Colta presenta un fondo casi plano con una profundidad homogénea de 3.5 m en la mayoría de sus puntos.(3)

Las características tales como las elevadas pendientes, deforestación y el uso limitado de técnicas de conservación, son causas evidentes de los principales procesos erosivos a los que es sometida la cuenca desde hace algún tiempo.

Según datos conocidos entre 1962 y 1989 se ha presentado un claro decrecimiento del espejo de agua libre de totoras, proceso que se ha hecho mucho más lento entre los años

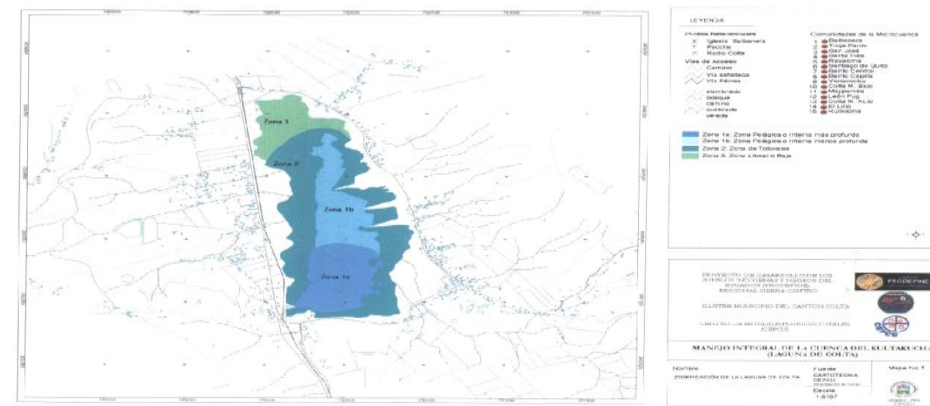
1989 y 2000. Este proceso se ha visto claramente invertido en cuanto a lo que es el crecimiento de totorales entre los años 1989-2000

Para poder comprender el estado actual de la laguna se han establecido zonas específicas sobre las cuales se ha considerado necesario establecer el respectivo eje de acción. Dentro de la laguna, para una mayor interpretación de la situación de la laguna, se destaca tres zonas diferentes. En función de la profundidad y tipo de vegetación predominante, dentro de la laguna se pueden distinguir tres zonas diferentes:

- ✓ **Zona Ia:** Zona pelágica o interna más profunda, la que representa las mayores profundidades, donde los productores primarios dominantes son las algas;
- ✓ **Zona Ib:** Zona pelágica o interna menos profunda, donde los productores primarios dominantes son las macrofitas enraizadas, principalmente sumergidas;
- ✓ **Zona II:** Zona de totorales, en ésta zona predomina el cultivo de la totora (*Scirpus totora*) y la presencia de otras especies de plantas acuáticas de valor (*Lemnasp.*, *Azollasp.* Y otras), formando pantanos típicos.
- ✓ **Zona III:** Zona litoral baja, donde encontramos alguna vegetación acuática, principalmente sumergida (*Potamogetonsp.* Y otras). (4)

En busca de conservar el biocentro KULTA KUCHA y la historia paisajística de Colta, se ha establecido el macro proyecto de Recuperación y Manejo Integral de la Cuenca.

Figura 2. Análisis Multitemporal De La Evolución De La Laguna



Fuente: Proyecto de recuperación de la Laguna de Colta

1.9.1 Variables del estado

De acuerdo al concepto de contaminación adoptado, y contemplando los problemas que han ido desgastando poco a poco a la Laguna de Colta, las principales variables que definen los problemas que se manifiestan en la Laguna:

- ✓ La sedimentación,
- ✓ El estado trófico – calidad de agua,
- ✓ El crecimiento excesivo de las macrofitas dentro de la Laguna es una consecuencia directa de los altos valores de sedimentación y de tropismo en la Laguna. (4)

1.9.1.1 Sedimentación

Entre los principales factores que influyen en los procesos erosivos a que está sometida la Laguna son: las elevadas pendientes, la deforestación y el limitado empleo de técnicas de conservación. Sin embargo no se han realizado estudios de tal profundidad que muestren los valores reales sobre la velocidad con la que se produce la sedimentación de la cuenca, ni de la cantidad exacta de sedimentos acumulados.

Se considera que desde 1963 se ha venido dando un fuerte proceso de sedimentación, de origen antrópico, que ha ido produciendo un efecto trampa, dándose así la acumulación de sedimentos en el fondo de la laguna, lo cual ha ido provocando una pérdida de profundidad y de volumen; con una alta demanda de oxígeno en el fondo. Pese a ello las bajas profundidades existentes en la cuenca, dan paso a que el viento ejecute la labor de mezclado frecuente y re-suspensión de fósforo desde los sedimentos del fondo hacia toda la columna de agua, principalmente en la Zona 1, pelágica más profunda y expuesta a la acción del viento. (4)

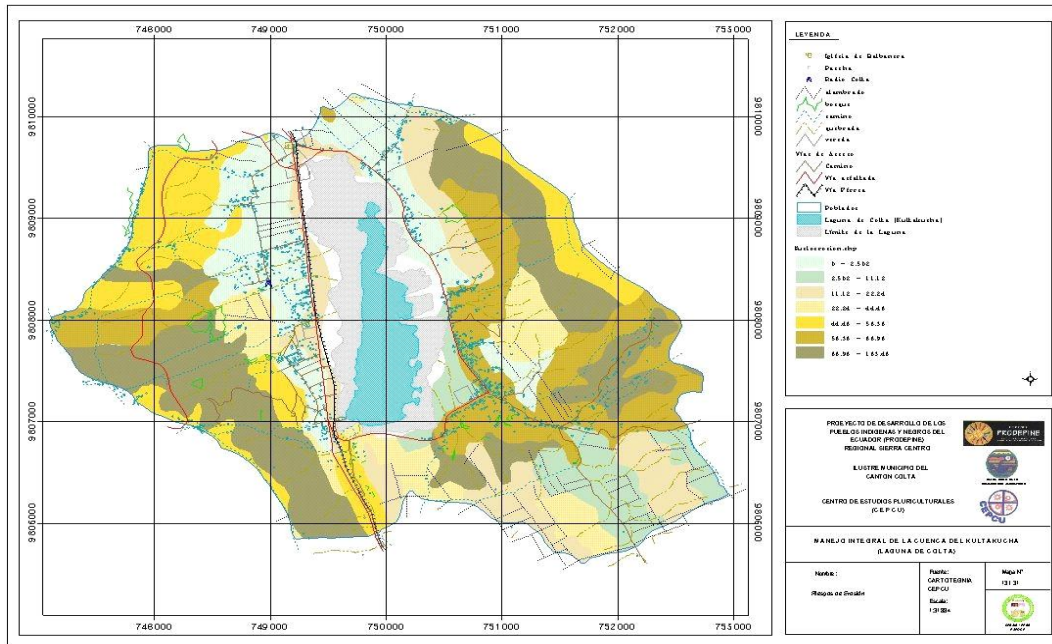
Se asume que en 1981 la laguna tenía una profundidad aproximada de 3,5 m según estudios de Steinitz-Kannan, al transcurrir 20 años se ha dado una disminución de la profundidad de la laguna de alrededor de 0.6m, aproximadamente 3 cm/año.

1.9.1.2 Eutrofización - Calidad del Agua

Mediante los estudios que se han ejecutado; se ha podido señalar que:

- ✓ El proceso de sedimentación de la Laguna es mucho más preocupante debido a que cada vez se muestra más la pérdida de profundidad de la cuenca.
- ✓ El modo en el que ha ido avanzando la vegetación hacia el centro de la laguna muestra claramente la gran acumulación de sedimentos en el fondo de la Laguna, lo que a su vez influye en el aumento de la concentración de carga orgánica en la misma.(4)

Figura 3. Mapa de avance de procesos erosivos de la Laguna



Fuente: Proyecto de recuperación de la Laguna de Colta

1.10 PROYECTO EN FASE DE RECUPERACIÓN

Según las referencias del Plan de Manejo de la Cuenca de la Laguna de Colta, Del Plan de Manejo Ambiental de la Laguna de Colta, y en sí de observaciones directas en la Laguna de Colta, la lacustre de Colta se encuentra en un estado trófico acelerado, conllevando a la pérdida de 3 cm al año en profundidad en todo el espejo de agua, este incremento de sedimentos ha permitido que se acumule, en donde existen, la totora produciendo el efecto trampa, al disponer de acumulación de sustratos esta macrofita se está extendiendo en forma incontrolada en la lacustre y a su paso crea espacios o áreas anóxicas, lo que conlleva al desplazamiento de las especies acuáticas en primera instancia, y como término su pérdida.(4)

1.10.1 DRAGADO DE SEDIMENTOS

Para disminuir el nivel de sedimentos que se encuentran en el fondo de la Laguna, y siguiendo la ejecución del trabajo de acuerdo a las zonas descritas, el trabajo de dragado se inició en la Zona III denominada zona litoral o baja, en la que se encontraron mayor cantidad de sedimentos acumulados, que según los estudios son provenientes de las 14 quebradas principales y 7 secundarias debido a erosiones hídricas y arrastre de sedimentos desde las zonas más altas hacia la planicie de la Laguna.

Mediante un estudio batimétrico se pudo realizar la construcción de celdas con una altura promedio de 3m, con características uniformes de acuerdo al terreno que se iba a emplear, cada celda cuenta con un vertedero con delantales utilizando sacos con tierra. Se utilizaron trampas de sedimentos a 3, 6 m del vertedero principalmente utilizando la misma totora para que recojan los sedimentos que regresasen a la laguna.

Los sedimentos acumulados en las celdas después del proceso de secamiento natural son movilizados hacia otro lugar en el área de la laguna donde son utilizados como parte de un proceso de re vegetación de plantas endémicas e introducidas, con el propósito de disminuir el impacto visual. Como meta es la extracción, evacuación y disposición de 750.000 m³ de sedimentos con la draga.

1.10.2 EXTRACCIÓN Y MOVILIZACIÓN DE TOTORA

Se reporta que la totora identificada en la región Andina del Ecuador, posee una velocidad de crecimiento de 7130 kg/ha./año; en relación a la laguna de Colta, se estima una producción de 606.050 toneladas de totora anualmente.(4)

Según datos registrados en el año 2008, La laguna tiene una extensión de 172 hectáreas, de ellas 85 hectáreas corresponden a totora y 87 hectáreas al espejo de agua. Dentro de los principales objetivos del proceso de dragado es que al término de éste, y al continuar con la

fase de mantenimiento se pueda introducir especies de peces con capacidad zooplanctófaga y de rápida producción y crecimiento para realizar pesca deportiva.

1.11 Protocolo de toma de muestra

Debido a que los sedimentos que se extraen de la Laguna de Colta se depositan en celdas para su respectivo secado, la toma de la muestra se hace bajo los procedimientos de muestreo de suelo. Tomando en cuenta por consiguiente las presentes consideraciones:

- ✓ Zonificación y tamaño de las áreas de muestreo.
- ✓ Método de toma de muestra.
- ✓ Tipo de muestras.
- ✓ Colecta de la muestra.
- ✓ Homogenización de la muestra
- ✓ Envasado e identificación de la muestra
- ✓ Registro de las muestras colectadas
- ✓ Transporte

1.11.1 Zonificación de las áreas de muestreo

Debido a que las características del suelo pueden ser variables pese a ser parte de una misma zona, es necesario realizar una zonificación de la superficie que se desea muestrear, basados en áreas homogéneas que serán expresadas de manera gráfica mediante las siguientes consideraciones:

- ✓ Tipos de suelo, basado en su taxonomía, fases, capacidad para ser utilizado con posterioridad.
- ✓ Apreciación visual de color superficial del suelo
- ✓ Textura del suelo
- ✓ Tipo de vegetación

✓ Manejo y grado de intervención (Fertilización)

Los antecedentes que en este caso pueden ser utilizados para definir áreas homogéneas, pueden ser: cartas topográficas, fotografías aéreas y mapas de suelos.

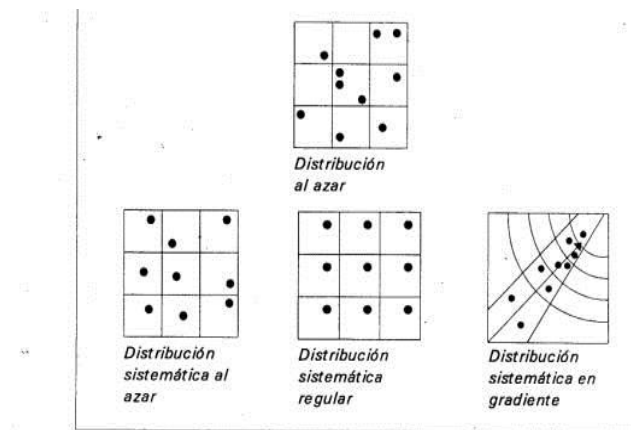
1.11.2 Método de toma de muestra de suelo

La toma de muestra de suelo podrá ser realizada bajo las siguientes metodologías.

1.11.2.1 Muestreo sistemático

En éste se considera que la toma de muestras debe ser en puntos que estén ubicados a distancias uniformes, buscando que exista equidistancia entre los mismos, cubriendo así toda el área a muestrear.

Figura 4. Formas de muestreo sistemático



Fuente. <http://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Protocolo%20toma%20muestras%20suelo.pdf>

1.11.2.2 Método de muestreo asistemático

Es una forma de muestreo al azar, sin embargo los puntos son representativos del suelo del área de muestreo.

1.11.2.3 Método de muestreo combinado

Este tipo de muestreo es una combinación del método sistemático y el asistemático, por lo cual presenta mayor flexibilidad al momento de definir los puntos a muestrear, con relación al muestreo sistemático, por lo cual se puede ajustar según cada necesidad específica.

Figura 5. Formas de muestreo combinado



Fuente: <http://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Protocolo%20toma%20muestras%20suelo.pdf>

1.11.3 Tipo de muestras

El tipo de muestra de suelo debe ser compuesta. La cantidad de submuestras que van a formar la muestra serán entonces entre 20 a 25 submuestras; por lo que evidentemente deberá variar según el tipo de suelo, y de sus características físicas y químicas en el área homogénea.

1.11.4 Colecta de la muestra de suelo

En caso de utilizar un barreno muestreador cilíndrico o un bastón agrológico para coleccionar la sub-muestra, éste se debe introducir hasta 20 cm de profundidad, lo cual se debe tomar en consideración y se deberá marcar previamente en el barreno o bastón. (7)

En caso de que el muestreo se realice con pala, se debe entonces realizar un agujero en forma de V a fin de extraer una lámina de suelo hasta la profundidad que ya se ha señalado, eliminando así el material colectado de los bordes de la pala, dejando de esta manera sólo el centro de ella, para así evitar posibles contaminaciones.

Figura 6. Muestreo con barreno y pala



Fuente: <http://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Protocolo%20toma%20muestras%20suelo.pdf>

1.11.5 Homogenización de la muestra

Se recomienda coleccionar submuestras de 40-50 g de peso, a fin de lograr el peso requerido para una muestra compuesta, es decir de 1kg de suelo lo que permite homogenizar la misma en un balde. En el caso de muestras compuestas en la que el peso es superior al que se necesita; que es lo que suele pasar en un muestreo con pala se utiliza la técnica de los cuartos opuestos.

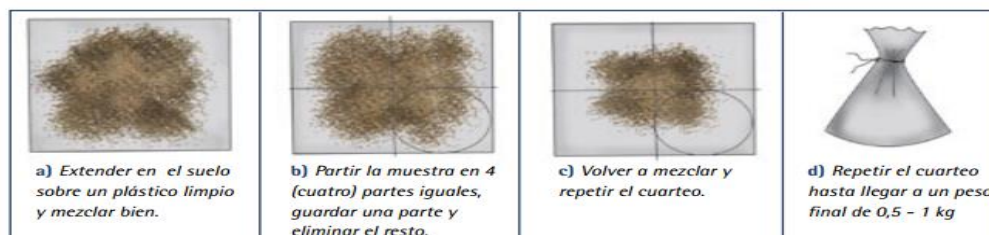
1.11.5.1 Técnica de los cuartos opuestos

Se debe:

- ✓ Homogenizar la muestra compuesta inicial, en un balde
- ✓ Extender la muestra compuesta homogenizada en un plástico
- ✓ Separar los cuartos opuestos

- ✓ Repetir el procedimiento cuantas veces sea necesario hasta obtener el peso esperado.

Figura 7. Descarte por cuartos opuestos



Fuente.

<http://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Protocolo%20toma%20muestras%20suelo.pdf>

1.11.6 Envasado e identificación

La muestra se envasa en una bolsa de plástico resistente al transporte y se identifica con un lápiz de tinta indeleble. No se debe introducir ningún tipo de objeto ajeno a la muestra en el interior de la bolsa plástica, con el fin de evitar la contaminación de la muestra.

En la rotulación de la muestra deberá constar: Número o código de la muestra, fecha de la recolección, responsable de la toma de muestra.

1.11.7 Transporte

Se debe evitar que las muestras colectadas estén directamente expuestas al sol u otras fuentes de calor durante su transporte, el cual se debe realizar en el menor tiempo posible. Además se debe reducir el riesgo de cualquier tipo de contaminación externa durante el envío al laboratorio.

1.12 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES-MÉTODO DE LEOPOLD

La matriz de Leopold fue el primer método establecido para la evaluación de impactos ambientales. La base de este sistema es una matriz en la que las entradas según las columnas representan acciones desarrolladas por el hombre y que pueden representar un tipo de afectación al medio ambiente. Mientras las entradas en base a las filas representan las características del medio ambiente que pueden ser dañadas. En base a las columnas y filas pre-establecidas podemos definir interacciones existentes. El número de acciones que refleja esta matriz es de 100 y 88 efectos ambientales, resultando 8800 interacciones. Por lo regular el número de proyectos analizados refleja un número de 50.

Para poder proceder con la evaluación de impactos ambientales, se da primero la identificación de interacciones existentes, por lo cual se debe tomar en cuenta cada una de las acciones que desarrollará el proyecto (columnas). Luego cada acción se relaciona con un factor ambiental (fila) que puede verse afectado de manera significativa. Cada cuadrícula de interacción debe ser dividida con una diagonal ya que cada espacio representará el valor asignado a la acción y factor correspondiente.

Para la evaluación de los impactos se realiza una evaluación individual de los más importantes. De manera que se admiten los valores de:

Magnitud: Se toma en cuenta un rango del 1 al 10. Donde el número 10 representa la alteración más alta provocada, mientras el 1 proyecta la mínima. En el caso de estos valores van precedidos por un signo + o – en base al efecto que tenga el impacto generado.

Importancia (ponderación): Establece la importancia que tiene el factor ambiental dentro del proyecto, o la posibilidad de que se manifieste algún tipo de alteración.

La matriz de Leopold tiene aspectos positivos entre los cuales se encuentran los pocos medios necesarios para su aplicación, comparable con la gran utilidad de la misma para

identificación de efectos, debido a que contempla de manera completa los factores físicos, biológicos y socio-económicos que se encuentran involucrados. Para cada caso esta matriz necesita un ajuste que vaya acorde al proyecto en ejecución, por lo cual se debe plantear de manera correcta y clara los efectos de cada acción, enfocados debidamente al aspecto objeto del estudio.

1.13 MARCO LEGAL

Debido a la importancia que tiene el desarrollo de este proyecto y al ser una iniciativa del Ministerio de Ambiente de Ecuador y considerando que se debe tratar tanto el sedimento como el agua extraída de este, para fines recreativos podemos encontrar un grupo de importantes leyes mediante las cuales se desea direccionar el presente trabajo.

En nuestro país la legislación ambiental consta de un conjunto de leyes, códigos, reglamentos y ordenanzas municipales. Por lo cual el Ministerio de Ambiente cuenta con el programa denominado: 'Legislación y normativa para el desarrollo sustentable', en la cual se detalla las leyes:

1.13.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ECUADOR

Art. 14.-Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumakkausay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los Ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país. La preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Capítulo Séptimo (Derechos De La Naturaleza)

Art.72.-La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tiene el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley: en el numeral 6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

1.13.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL

Expedida en el año 2001, “El Ministerio del Ambiente del Ecuador”. La Gestión Ambiental contempla los mecanismos de orden técnico, jurídico o de otro tipo, conducentes a lograr racionalidad y eficiencia en la gestión ambiental. A través de los instrumentos técnicos y legales, se establecen las obligaciones de las personas respecto al medio ambiente.

1.13.2.1 TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA TULAS LIBRO VI ANEXO 1 Y ANEXO 2.

Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios

- ✓ Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

- ✓ Los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario, se presentan a continuación

Criterios de calidad para aguas con fines recreativos

Se entiende por uso del agua para fines recreativos, la utilización en la que existe:

- a) Contacto primario, como en la natación y el buceo, incluidos los baños medicinales y
- b) Contacto secundario como en los deportes náuticos y pesca.

Los criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto primario se presentan a continuación

Criterios de Remediación o Restauración del Suelo

Los criterios de Remediación o Restauración se establecen de acuerdo al uso que del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), y son presentados en la Tabla 3. Tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración.

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.1.1 Localización de la investigación

El presente estudio se realizó en la Laguna de Colta, la misma que cuenta con un área de drenaje que se encuentra localizada en la sub- cuenca del Río Guamote, en las coordenadas:

Longitud Oeste= $78^{\circ} 46' 58.8354''$ W

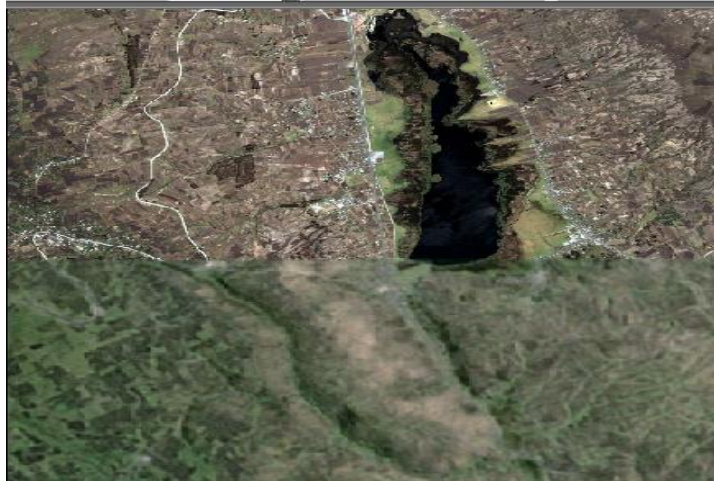
Latitud Norte= $1^{\circ} 43' 28.3487''$ S

Longitud Este= $78^{\circ} 44' 20.2750''$ W

Latitud Sur= $1^{\circ} 46' 06.8229''$ S

La superficie total que comprende la Laguna es 1945 hectáreas (19,45 km) más 204 hectáreas correspondientes a la Laguna propiamente dicha. Por la división político administrativa, la cuenca abarca los territorios de dos parroquias, Santiago de Quito con una superficie de 753 has. Que comprende alrededor del 35% y Sicalpa con 1396 has. Que comprenden el 65%, ambas pertenecientes al Cantón Colta, con una totalidad de habitantes de 2939, la mayoría de ellos de nacionalidad Puruhá.

Figura 8. Localización del área de estudio



Fuente: Alexandra Bonilla

El proyecto de reconstrucción del área en la cual se encuentra ubicada la Laguna de Colta, para abrir paso a la edificación y adaptación de un Malecón se da como iniciativa del Ministerio de Ambiente y el GAD Municipal de Colta. De este modo en el proyecto se contempló como meta el hacer de éste un sitio completamente turístico, además de ejecutarse el proceso de recuperación del espejo de agua de la laguna.

Es así que el proyecto emprendido para tal motivo; hoy se encuentra dentro de los objetivos y metas del plan nacional del buen vivir desde el 2009, manejándose bajo la política de conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y su biodiversidad terrestre y marina, considerada como un sector estratégico.

- Protección Medio Ambiente y Desastres Naturales, con los subsectores
- Planificación y control del ambiente
- Protección de cuencas y áreas naturales protegidas
- Viveros y forestación

2.1.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Materiales empleados para la medición de caudales, muestreo para suelo, muestreo de agua y de topografía.

- Balde graduado de 16 litros
- Cronómetro
- Libreta de apuntes
- Barreno
- Pala
- Bolsas ziploc
- Botas de caucho
- Guantes
- Libreta de apuntes
- Cooler
- Envase de plástico de 2L
- Envase de plástico estéril de 150mL
- Guantes.
- Cámara fotográfica
- GPS
- Nivel de burbuja
- Flexómetro
- Piola
- Tela lienzo

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Reconocimiento del Malecón de la Laguna de Colta

El reconocimiento del Malecón estuvo a cargo de profesionales del GADM de Colta, los mismos que encargados del control del proceso de dragado de la laguna donde se proporcionaron detalles sobre el modo como se lleva a cabo este trabajo, además se indicó el sistema de celdas en el cual se dispone el lodo extraído del cuerpo de agua con ayuda de la draga y el caudal total que ésta es capaz de remover, para dicha disposición.

2.2.2 Medición de caudal real diario dragado

Debido a que la descarga en las celdas, por el proceso de dragado es constante y no existe disminución en su nivel de actividad, las mediciones realizadas para conocer el caudal diario, fueron realizadas por el método volumétrico.

El sitio en el que se realizó la medición del caudal fue directamente en el extremo de la tubería, dispuesta sobre el sistema de celdas para realizar el depósito de los lodos extraídos de la laguna. Empleando un balde graduado de 16 litros de capacidad y un cronómetro se determinó el caudal de descarga por aplicación de la fórmula

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 1

Donde:

Q= Caudal en L/s

V= Volumen del recipiente, L

t= Tiempo de llenado, (en segundos)

Las mediciones se realizaron por un período de dos días de actividad de dragado normal, considerando que el horario de inicio de actividades es a las 08:00 y concluye a las 15:00, con una hora de receso, quedando establecidas 7 horas para las actividades de dragado.

Toda esta información fue respaldada y verificada mediante revisión de los registros existentes sobre trabajos diarios de la draga en la correspondiente actividad de extracción de lodos de la Laguna de Colta.

2.2.3 Determinación de caudal de lodo y agua total

Para poder conocer el volumen de lodo que se tratará como resultado del dragado de la laguna y al mismo tiempo determinar el volumen de agua con el que se trabajará en el proceso de tratamiento adicional, además de tener datos para la respectiva comparación y verificación luego de la información proporcionada por el municipio sobre el contenido de agua y lodo existente en el mismo, se procedió a realizar un muestreo exclusivo con este objetivo.

Para lo cual primero se siguieron los siguientes pasos:

- Se procedió a tomar una muestra de un litro de material dragado para proceder al filtrado de la misma y determinar el contenido de material sólido y agua.
- Se procedió al filtrado del agua en un recipiente graduado de 5 litros, utilizando como material filtrante una tela lienzo.
- Se verificó el tiempo en el cual se filtró el material, además del volumen de agua que ha logrado filtrarse.
- Una vez concluido esto se procede a determinar el volumen de material sólido y líquido contenido en la totalidad del material dragado.

2.3 MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA

2.3.1 Lodos

La muestra fue tomada directamente de las celdas donde se dispone el lodo para su secado. Considerando que al momento del muestreo estaba siendo el material dragado en cada una de las respectivas celdas. Se procedió a tomar cada una de las muestras con ayuda de un barreno, tomando en cuenta la profundidad de las celdas, el muestreo se realizó a distintas alturas (1m, 2m, 3m) y en distintos puntos de la celda (muestreo compuesto en espacio), para luego llevarse a cabo la homogenización de las mismas y su respectivo cuarteo con el objetivo de tener una muestra homogénea, la cual luego sería depositada en la funda ziploc debidamente etiquetada con la fecha, lugar, hora nombre del muestreador y tipo de muestra, para luego ser llevada al laboratorio en un cooler con hielo para preservación de las mismas. Para la caracterización de las muestras se utilizan los métodos a continuación especificados.

Tabla 6. Métodos usados para el análisis físico-químico de Lodos de la Laguna de Colta (Muestra tomada el 16 de Abril 2013)

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA
Carbono Orgánico fácilmente oxidable	Walkley Black, 1934
Capacidad de intercambio catiónico (*)	Análisis de suelos de Primo Yufera
Cloruros (*)	EPA SW 846 9253
Fluoruros (*)	Standard Methods Ed-21-2005, 4500F—D
Fósforo Total (*)	Fusión Alcalina
Nitrógeno Total (*)	kjeldahl
Potencial Hidrógeno	EPA 9045 D. Rev. 04, 2004
Materia Orgánica (*)	Walkley Black, 1934

Coliformes Fecales (*)	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Coliformes Totales (*)	Standard Methods Ed. 21-2005, 9222 B
Calcio (*)	EPA 7140 Ed. 1996
Magnesio (*)	EPA 7140 Ed. 1996
Potasio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996
Sodio (*)	APHA 3120 B

*Métodos Normalizados APHA, EPA, ESTÁNDAR METHODS 21 ed

2.3.2 Caracterización del Agua

Se procedió al muestreo de agua en el mismo sitio donde se llevó a cabo la medición del caudal, para ello se tomó una muestra compuesta desde las 08:00 hasta las 15:00 horas por cada hora, la que fue depositada en un envase de plástico y vidrio debidamente etiquetado con la fecha, lugar, hora, nombre del muestreador y tipo de muestra, para luego ser llevadas a los laboratorios en hielo y bajo las condiciones apropiadas para su preservación.

Para determinar las alícuotas que fueron colocadas en los envases se usó la ecuación respectiva, y mediante probetas fueron puestas cuidadosamente en los respectivos recipientes. Para el análisis físico y químico se entregó una muestra de aproximadamente 3.78 litros en el caso del análisis físico-químico, y un vaso de 150 mL para muestreo microbiológico. Para la caracterización de las muestras se utilizan los métodos a continuación especificados.

Tabla 7. Métodos utilizados para el análisis físico-químico de agua (Muestra tomada el 16 de Abril 2013)

PARÁMETROS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA
pH	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Conductividad	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D

Demanda Química de Oxígeno	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Sólidos Disueltos	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Sólidos Totales	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Sólidos Sedimentables	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Nitratos	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Fosfatos	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D

*Métodos Normalizados APHA, AWW, WPCF 17 ed

Tabla 8. Métodos utilizados por SAQMIC para el análisis MICROBIOLÓGICO de agua. (Muestra tomada el 16 de Abril 2013)

PARÁMETROS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA
Coliformes Fecales UFC/100 ml	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D
Coliformes Totale UFC/100 ml	Standard Methods Ed. 21 2005, 9222 D

*Métodos Normalizados APHA, AWW, WPCF 17 ed

2.3.3 Determinación de la topografía del terreno

Para determinar la planimetría y altimetría del lugar donde posiblemente se instalará la planta de tratamiento para los lodos de dragado de la Laguna de Colta, se realizó la medición mediante el empleo de GPS para determinar la superficie del terreno. Para ello se procedió a la configuración del GPS en coordenadas UTM, (rectangulares). Se realizó la marcación de los vértices del lindero correspondiente al área designada junto al Orquidiáreo SISA. De este modo se tomó los puntos del perímetro del predio, este procedimiento se realizó dos veces para así procesar la información y obtener la media de las lecturas. Luego

estos datos fueron trasladados a un programa empleado exclusivamente para elaborar mapas topográficos, y de este modo determinar el área en la que se llevará a cabo la construcción de la planta de tratamiento.

2.4 Dimensionamiento de la planta de tratamiento

Para llevar a cabo el diseño de la planta de tratamiento se toma en cuenta, el volumen, las características físico-químicas y microbiológicas de las muestras de agua y lodo; así como el espacio destinado a la construcción de la planta de tratamiento y la topografía; estableciendo la tecnología que mejor se adapte, y que permita garantizar la depuración tanto de los lodos como del agua analizados previamente, y de este modo dar cumplimiento con la Normativa Ambiental vigente.

Para determinar los tipos de tratamiento a aplicarse en la planta, se emplearon distintos criterios y ecuaciones presentados por algunos autores como Metcalfy Eddy (1995), Jairo Alberto Romero Rojas (2002), Aurelio Hernández, Normas RAS 2000.

2.4.1 Elaboración de planos

Para la elaboración de mapas de ubicación de la Laguna de Colta así como del área donde se ubicará la planta de tratamiento propuesta se utilizó el programa Google Mapper.

En cuanto a la elaboración del mapa referente al área en la cual se podrá disponer la planta de tratamiento se utilizó el programa ARCGIS.

Para la elaboración de planos con las diferentes etapas de tratamiento que deben incluirse en la planta a diseñar se utilizó el programa AUTOCAD.

2.5 Método de evaluación de Impactos Ambientales

Para el diseño de la planta de tratamiento de los lodos de dragado de la Laguna de Colta se ha contemplado la generación de diferentes impactos ambientales, ya sean estos de carácter positivo o negativo, los cuales fueron identificados por medio de la metodología de Leopold para lo cual se toma en consideración actividades impactantes así como factores ambientales que se verán afectados. (CONESA 2010)

2.5.1 Actividades impactantes durante la fase de construcción

- Limpieza del área
- Excavación en el terreno
- Nivelación del terreno
- Transporte del material para construcción
- Edificación.
- Generación de desechos por construcción
- Transporte de desechos de construcción
- Mejoramiento en vías de acceso

2.5.2 Factores ambientales afectados durante la construcción

Componentes físicos

Aire

- Material Particulado
- Olores
- Ruido

Suelo

- Uso de suelo
- Calidad de suelo
- Paisaje

Agua

- Uso de Agua
- Calidad del agua

Ecosistema terrestre

- Aves
- Vegetación

Ecosistema acuático

- Microfauna
- Invertebrados
- Microflora

Factores Socio-económicos

- Salud y seguridad
- Fuente de empleo

Factor Cultural

- Patrimonio cultural

2.5.3 Evaluación del impacto ambiental mediante Matriz de Leopold modificada.

Se lleva a cabo la diferente evaluación de impactos ambientales debido a que es necesario identificar las distintas actividades que se desarrollarán durante las fases de construcción, operación y mantenimiento de cada uno de los procesos a implementarse en La Planta de Tratamiento para los Lodos de Dragado de la Laguna de Colta, por lo cual se utilizará el modelo propuesto por Leopold en 1971, la misma que se compone de 100 posibles acciones y 88 características ambientales, interviniendo la valoración de riesgos, la magnitud del impacto y la gravedad o importancia del impacto.

Tabla 9. Escala de valoración de impactos

Valor	Severidad
75,1-100	Severo

50,1-75	Crítico
25,1-50	Moderado
0-25	Leve

Fuente: CONESA 2010

Considerando cada una de las actividades a desarrollarse se determinará si el el impacto es positivo (+) en caso de resultar benéfico para el ambiente o negativo si llegara a perjudicarlo, de este modo se evaluará la magnitud y al final la importancia, con una calificación del 1 al 10, calificándose inicialmente la magnitud o grado de afectación y posterior a esto la importancia que muestra la extensión y la relevancia del impacto, según se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 10. Valoración de la magnitud e importancia de la matriz de Leopold.

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación	Influencia	Duración	Calificación
Baja	Baja	1	Puntual	Temporal	1
	Media	2		Media	2
	Alta	3		Permanente	3
Media	Baja	4	Local	Temporal	4
	Media	5		Media	5
	Alta	6		Permanente	6
Alta	Baja	7	Regional	Temporal	7
	Media	8		Media	8
	Alta	9		Permanente	9
Muy Alta	Alta	10	Nacional	Permanente	10

Fuente: Leopold 1971

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 Reconocimiento del Malecón de la Laguna de Colta

Durante el reconocimiento del Malecón se realizó la revisión del sistema de celdas en el cual se estaba trabajando para la disposición del material dragado. De tal manera que gracias a las mediciones realizadas se logra determinar el área y perímetro ocupado por cada una de las celdas, tal como se especifica a continuación.

Tabla 11. Área y Perímetro de las celdas.

NÚMERO DE CELDA	AREA (m ²)	PERÍMETRO (m)	PROFUNDIDAD (m)
1	15	16	3
2	12	15	3
3	15	16	3
4	12	15	3
5	15	16	3

Fuente: Alexandra Bonilla

Ocupando así un área total de 69 metros cuadrados (69 m²), tal como se observa en el Anexo 2.

3.1.2 Caudal real diario dragado

Considerando los datos experimentales obtenidos producto del muestreo de caudal de dragado en un día normal de labores y utilizando la Ecuación 1 presentada en el Capítulo

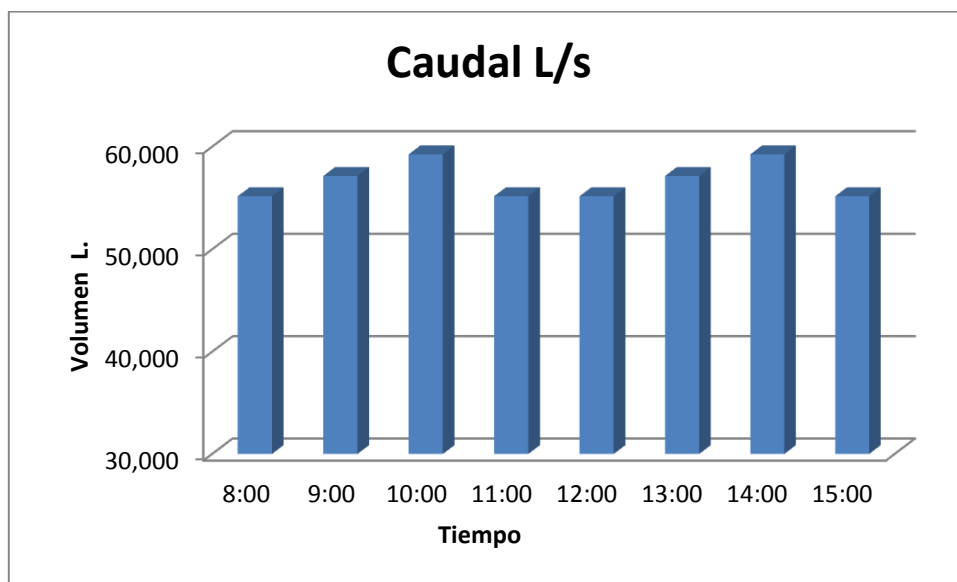
II, se logra establecer el caudal correspondiente para cada hora de trabajo, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Datos de muestreo de Caudal

Hora de muestreo	Caudal L/s
8:00	55,172
9:00	57,143
10:00	59,259
11:00	55,172
12:00	55,172
13:00	57,143
14:00	59,259
15:00	55,172

Fuente: Alexandra Bonilla

Figura 9. Variación de caudal por hora



Fuente: Alexandra Bonilla

Bajo estos datos y teniendo conocimiento de la descripción técnica de la draga, se busca comprobar si el caudal dragado es de 200 m³/h o superior a este valor. Por lo cual se emplean los datos de la tabla 12, logrando establecerse un caudal promedio igual a 204,07 m³/h y 1020,36 m³/d. Además de mostrarse un flujo regular en cuanto al material dragado por cada hora de trabajo tal y como se muestra en la Figura 9.

Sin embargo tal como se reportan los resultados obtenidos en base al muestreo realizado se puede constatar una ligera variación en el valor del caudal muestreado frente al reportado según las características técnicas de la draga, lo cual puede deberse a ciertos aspectos tales como una sobrecarga en el horario de trabajo que cumple la maquinaria, lo cual conlleva a forzar la capacidad de la draga.

3.1.3 Determinación de caudal de lodo y agua total a tratar del material dragado

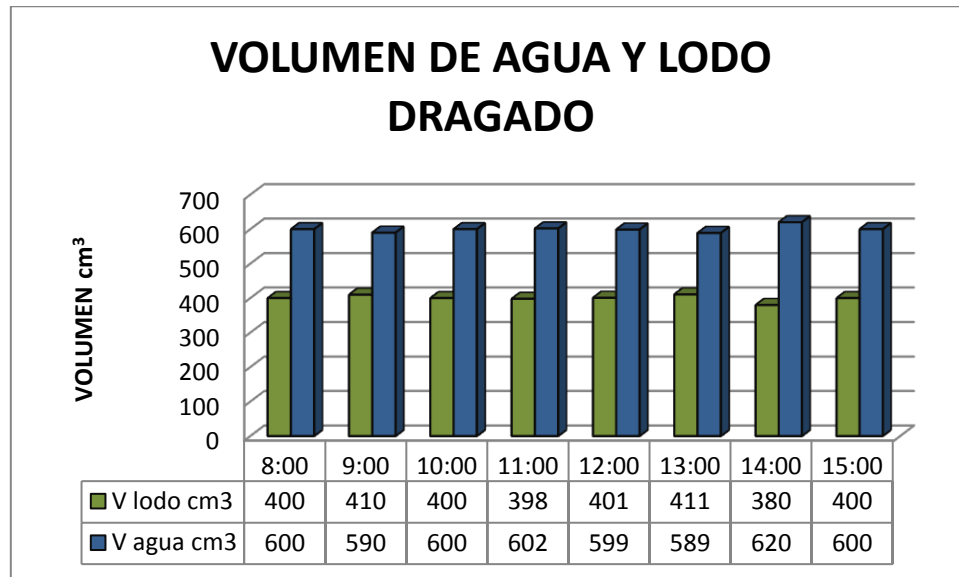
Bajo criterios teóricos manejados por el GAD Municipal de Colta, el material dragado tiene un contenido de 70% de agua y 30% de sedimento, lo cual bajo el procedimiento descrito en el Capítulo II fue comprobado mediante muestreo realizado el 13 de abril 2013. Es necesario recalcar que para obtener los datos presentados a continuación se filtró un litro de muestra de material dragado, por cada hora, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 13. Datos de muestra filtrada por hora

Hora de muestreo	V lodo cm³	V agua cm³
8:00	400	600
9:00	410	590
10:00	400	600
11:00	398	602
12:00	401	599
13:00	411	589
14:00	380	620
15:00	400	600
Promedio	400	600

Fuente: Alexandra Bonilla

Figura 10. Volumen de Agua y Lodo Dragado



Fuente: Alexandra Bonilla

Al realizar el promedio del volumen de lodo y agua filtrado por unidad de tiempo mediante la metodología especificada anteriormente se logra establecer que el volumen de sedimento contenido en el material dragado corresponde al 40%, mientras el volumen de agua corresponde al 60% del mismo. Lo cual se ve reflejado en la Figura 10 donde se presenta el contenido de la fracción sólida y líquida en la muestra.

Sin embargo la variación en cuanto al porcentaje determinado frente a los datos proporcionados se puede basar en la misma actividad de dragado, debido a distintos factores como la ubicación de la draga en zonas con mayor contenido de sedimento.

3.1.4 Caracterización Físico, Química y Microbiológica

3.1.4.1 Caracterización de lodos

Mediante la muestra de lodo tomada el 16 de Abril del 2013 y entregada a CORPLAB (Laboratorio de Análisis Ambiental de la ciudad de Quito) para su respectivo análisis se logra establecer los siguientes resultados.

Tabla 14.Resultados De Laboratorio – Análisis De Lodos

PARÁMETRO	M1	M2	M3	NIVELES PERMISIBLES*	UNIDADES
Carbono orgánico fácilmente oxidable	2,42	1,95	2,63	-	%
Capacidad de intercambio catiónico	21,13	22,27	17,33	2	mEq/g
Cloruros	87	48	19	-	mg/kg
Fluoruros	7,8	8,7	4,4	200	mg/kg
Fósforo Total	327,3	280,7	375,6	-	mg/kg
Nitrógeno Total	0,20	0,19	0,18		g/100g
Potencial de Hidrógeno	8,00	8,06	8,12	6-8	-
Materia Orgánica	5,41	4,35	5,87	-	%
Coliformes fecales	4,80E+01	1,95E+02	2,47E+02	-	UFC/g suelo seco
Coliformes totales	8,40E+02	1,95E+03	5,70E+02	-	UFC/g suelo seco
Calcio	148	143	144	-	mg/kg
Magnesio	13	13	13	-	mg/kg
Potasio	>125	>125	>125	-	mg/kg
Sodio	1528,6	1440,6	1557,0	-	mg/kg

*TULSMA, Tabla 3 (Criterios de Remediación o Restauración), Libro VI, Anexo 2.

Fuente: CORPLAB

Es así que dentro de las principales características *in situ* que se observaron en los lodos están:

- ✓ El olor del lodo contenido en las celdas no era fuerte, por lo cual se presume la presencia de materia orgánica pero en baja concentración, correspondiente a los residuos de totora que pueden encontrarse contenidos en las mismas.
 - ✓ El color del lodo es bastante oscuro.
 - ✓ Presenta una textura un tanto viscosa.
-
- En cuanto a los resultados entregados por el laboratorio tal como se presenta en la Tabla 14 se puede notar una ligera variación en cuanto al nivel de pH, lo cual puede estar asociado a la producción de dióxido de carbono resultante del proceso de respiración o descomposición de insectos, plantas acuáticas, algas o bacterias que se desarrollan en la laguna y que al disolverse en el cuerpo de agua forman el ácido débil que afecta al nivel de pH.
 - Se puede verificar además que el contenido de potasio es un tanto elevado lo cual puede tener base también en la variación del pH lo cual genera problemas de buena adsorción de los iones de potasio.

Es importante definir las causas por la cuales se puede presentar cierta variación en algunos parámetros que pese a no tener Límites permisibles establecidos según la Normativa empleada, es fundamental determinar tal es el caso de:

- Cloruros y Fluoruros, los cuales determinan la salinidad del sedimento. Tal como se observa en los resultados entregados por el laboratorio, esto puede tener origen en el hecho, de que se habla de un cuerpo de agua en el cual el recurso no presenta flujo por lo cual no existe lavado ni arrastre de sales.

- Coliformes Totales y Fecales, la presencia de cierta variación en los valores correspondientes a estos parámetros se debe básicamente al desarrollo de especies de aves tales como patos, que han hecho de la laguna su hábitat natural, lo cual consecuentemente afecta el nivel de coliformes en el agua debido a la materia fecal depositada en la laguna por estas especies.

3.1.4.2 Caracterización de Agua

Con el objetivo de presentar un resultado sustentable de la muestra de lodos analizada, se llevó a cabo a la par el muestreo del agua extraída en el proceso de dragado; de este modo se presentarían resultados acerca de los parámetros especificados en la Tabla 7 y 8 del Capítulo II. Estos parámetros, fueron examinados en el Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad De Ciencias; en cuanto a los parámetros referentes a características físico-químicas de la muestra. Mientras en el ámbito microbiológico el análisis se efectuó en el Laboratorio SAQMIC. Presentando los siguientes resultados.

Tabla 15. Resultados De Laboratorio- Análisis Físico-Químico De Agua

PARÁMETROS	MUESTRA	LÍMITE PERMISIBLE*	UNIDADES
pH	7,39	5-9	
Conductividad	787,0	-	μSiems/cm
Demanda Química de Oxígeno	486,0	250	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	112,0	100	mg/L
Sólidos Disueltos	384,0	-	mg/L
Sólidos Totales	3600,0	1600	mg/L
Sólidos Sedimentables	400,0	1,0	mg/L
Nitratos	6,0	15	mg/L

Fosfatos	1,8	10	mg/L
----------	-----	----	------

*TULSMA, Tabla 9 (Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos), Libro VI, Anexo 1.

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

Tabla 16. Resultados De Laboratorio- Análisis Microbiológico De Agua

PARÁMETROS	MUESTRA (UFC/100 ml)	LÍMITE PERMISIBLE (UFC/100 ml)*
Coliformes Fecales	4.7×10^5	200
Coliformes Totales	1.7×10^6	4000

* TULSMA, Tabla 9 (Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos), Libro VI, Anexo 1.

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

Dentro de las características *in situ* que se pudieron encontrar durante la descarga directa del agua de la laguna, constan:

- ✓ Temperatura mínima de 15°C y máxima de 22°C.
- ✓ pH de 7.39 el cual se ubica dentro del límite permisible según el TULSMA

Mientras con ayuda del análisis de laboratorio se observa en las Tablas 15 y 16 que existen valores fuera del límite permisible tales como:

- DBO, la razón por la cual el nivel de este parámetro se encuentra fuera del límite establecido por la normativa ambiental se debe al conjunto de residuos orgánicos generados por las mismas especies existentes en la laguna, dado que por acción de las bacterias aeróbicas, se puede estar generando un consumo excesivo de oxígeno lo cual genera degradación de la materia vegetal existente en la laguna lo que ha elevado el nivel de DBO.
- DQO, en el caso de este parámetro el valor presentado una vez elaborado el análisis de laboratorio, se puede constatar que no supera en gran nivel el límite permisible, por lo cual

se puede atribuir a las actividades que se llevan a cabo en la laguna, entre ellas el mismo uso de la draga que provocó que el nivel de DQO se elevara, aunque no en gran proporción.

- Sólidos Totales y Sedimentables, debido a las condiciones climáticas y características de la Laguna de Colta, así como problemas de acelerada sedimentación en el cuerpo hídrico han hecho que se vayan incrementando las partículas sólidas, lo que a su vez dificulta la vida de algunos organismos.
- Coliformes Totales y fecales, para este caso la presencia de coliformes es notoria debido principalmente a la presencia de especies de aves que han desarrollado su hábitat en la laguna, esto sumado al factor histórico del desarrollo de pastoreo en la zona donde esta se encuentra ubicada, adicional a las lluvias que generan escorrentía de restos de material fecal producto de la actividad antes mencionada, hacia el cuerpo de agua.

3.1.5 Topografía del terreno

En cuanto al área en la cual se llevará cabo la construcción de la presente planta de tratamiento se ha tomado en consideración lo siguiente:

- Determinación de una zona que no afecte al espacio recreativo donde se encuentra ubicado el Malecón.
- Ubicación en un terreno de topografía ligeramente plana y sin gran presencia de pendientes en el terreno que puedan dificultar actividades como nivelación del área de construcción.
- Se ha considerado que el terreno es adaptable a las necesidades de construcción de la planta, de tal manera que no se requiera gran número de implementos tales como bombas.
- La planta de tratamiento tendrá la libertad de colocarse en una hectárea de terreno dado que es el espacio que se podrá destinar para la ejecución del proyecto.

3.1.6 Planta de tratamiento de lodos propuesta

A partir del cálculo de volumen real extraído por la draga considerando el tiempo de trabajo de la misma, se obtuvo un caudal a manejar tal como se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 17. Caudales a manejar

Caudal real dragado m3/h	Caudal diario trabajado m3/d	Tiempo de dragado en horas
204,07	1020,36	5

Fuente: Alexandra Bonilla

En un inicio se contempló el diseño de un sistema de espesamiento y de secado por medio de filtro de banda para tratar de manera directa el lodo y adicional a ello conectar una planta de tratamiento para el agua filtrada durante este proceso.

Sin embargo se consideró necesario el análisis de proyectos similares que contemplaran el tratamiento de lodos, de este modo se toma de referencia la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Ucubamba en Cuenca en la cual en el en el año 2012 se vio la necesidad de adicionar un sistema para el tratamiento de lodos.

Con base en este respaldo se pudo determinar que:

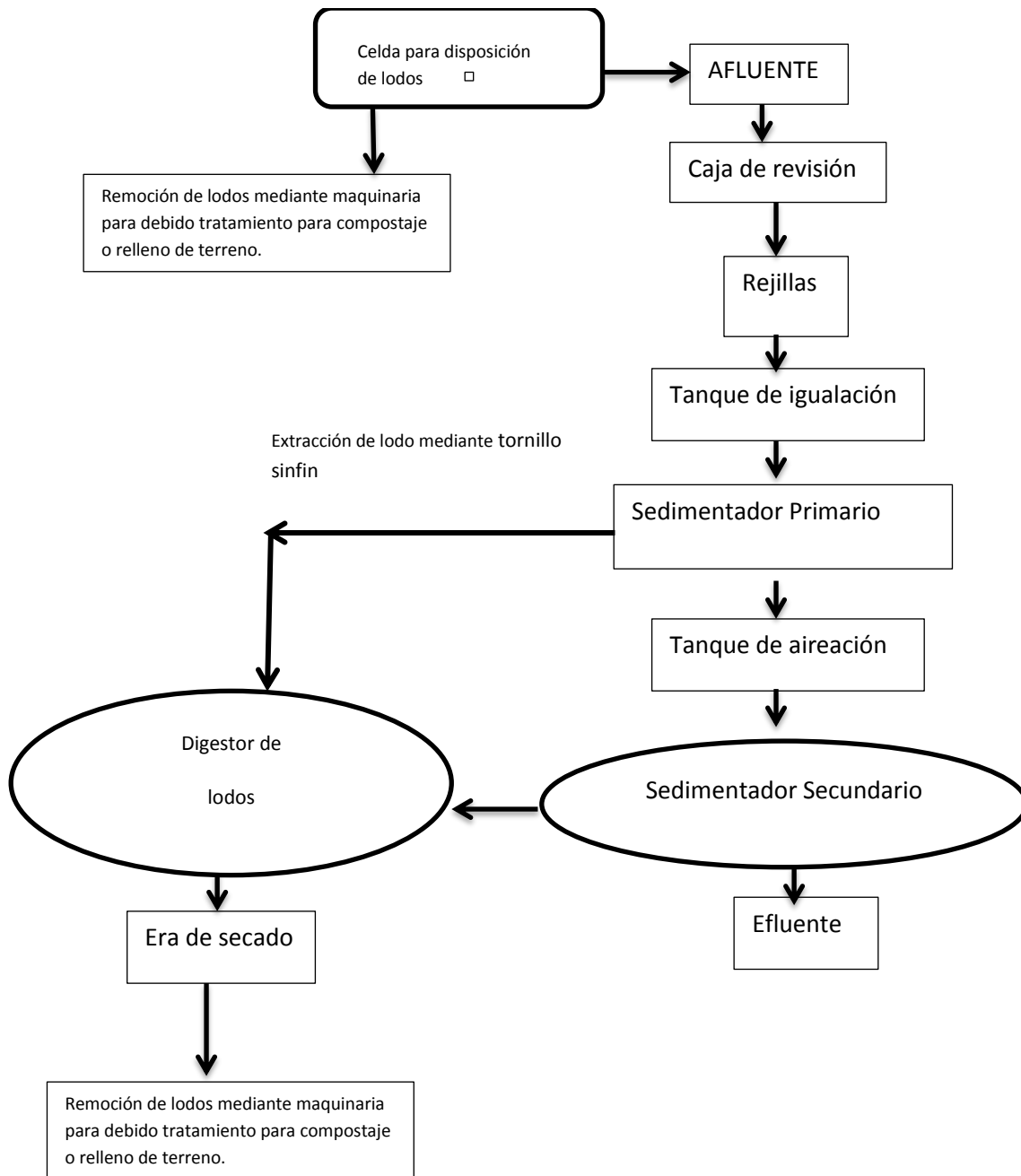
- Para el tratamiento de lodos de dragado es imposible ubicar un sistema de espesado, debido a que el caudal manejado a diario es demasiado grande.
- Se tiene en consideración la extracción de material desde la laguna como un proceso constante; por lo cual es casi imposible el diseño de una o dos estructuras que faciliten el tratamiento, ya que se correría peligro de colapso del sistema diseñado debido a que el tiempo de retención en un espesador es de 18 horas. Por lo cual para que su funcionamiento resulte efectivo y se evite este problema se necesitaría el diseño de más de cinco unidades de espesamiento, que a su vez sería inapropiado dada el área que se tendría que utilizar.

Además del gran costo económico y principalmente el impacto ambiental generado por dicha construcción.

Al tomar en cuenta cada una de estas observaciones y al analizar los datos de la caracterización realizada a la parte sólida y presentada por el laboratorio, se establece como sistema de tratamiento el mismo sistema de celdas en las cuales se ubica el sedimento en la actualidad y su vez conectar a este un sistema de recolección y transporte de agua a través de tuberías que se podrán ubicar en la parte perimetral del mencionado sistema de tratamiento.

De este modo partiendo del caudal de material dragado calculado y presentado en la Tabla 17, y en base al muestreo y método experimental aplicado para determinar la fracción sólida y líquida, se logra definir el caudal de agua con el que se trabajará de manera adicional al tratamiento aerobio que reciben los sedimentos, considerando al mismo tiempo que las estructuras diseñadas también tratarán un mínimo porcentaje de lodo que puede ser conducido por arrastre en la parte líquida.

Figura 11. Esquema de la planta de tratamiento de material de dragado de la Laguna de Colta



Fuente. Alexandra Bonilla

En la Figura N°11 se muestran cada una de las etapas por las cuales deberá pasar el material líquido una vez extraído de las celdas de disposición inicial, ubicándose en primera instancia su ingreso a una caja de revisión la cual se encarga de retener una parte del caudal que llega directamente, dicha caja tiene en su base dos canales en los cuales se encuentran dispuestas rejillas, las mismas que retienen aquellos materiales inorgánicos de gran tamaño que pueden llegar por medio del caudal.

Posteriormente pasa a un tanque de igualación el cual mediante un mezclador se encarga de generar una descarga a caudal continuo al sistema de tratamiento. Luego pasa a un sedimentador primario en el cual considerándose el ángulo de inclinación en la base del mismo se da la decantación de los sólidos que han pasado gracias al proceso anterior y a su vez estos son extraídos con ayuda de un tornillo sinfín hacia el digestor de lodos.

Después el material entra en el proceso denominado lodos activados, como parte de un tratamiento biológico, en el que se presenta un tanque provisto de difusores en los cuales se genera aireación suficiente para la remoción de DBO₅, DQO y SS entre un 75 a 95%. En este sistema se encuentra incorporado a su vez un sedimentador secundario de tipo circular el cual remueve el lodo en exceso que pasa del tanque de aireación así como la recirculación de lodos activados.

Los lodos en exceso que han sido generados y extraídos pasan a una etapa de tratamiento biológico adicional en un reactor anaerobio, para continuar con su paso al proceso de deshidratación en eras de secado, contribuyendo con las características necesarias para proceder a una adecuada eliminación de los lodos tratados, y a su vez permitir el empleo del mismo en un proceso de composteo o como abono de acuerdo a los nutrientes que se quiera adicionar luego de completado el tratamiento.

3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

3.2.1.1 Caudal de Lodos y Agua a tratar

En base a la metodología descrita para la determinación del volumen de sedimento y agua a tratarse, se usan los datos presentados en la Tabla 13. Considerando que la totalidad del material a dragarse a diario es 1020, 36 m³/d y que el 40% representa la fracción sólida y el 60% la fracción líquida se tendrá caudales correspondientes a los siguientes valores:

Tabla 18. Determinación de caudal de lodo y agua a tratarse.

Caudal de lodo m³/d	Caudal de agua m³/d
408,14	612,16

Fuente: Alexandra Bonilla

Estos valores son considerados con miras a tratar el 100% tanto de sedimento como de agua.

3.2.1.2 Cálculo de Caudal medio

Debido a que el volumen de lodo extraído de la Laguna de Colta es constante, y considerando que la ubicación inicial se dará en las celdas de disposición actual, la determinación del caudal de diseño para la fracción líquida del material dragado se considerará bajo los datos presentados en la Tabla 15.

Evidenciando los datos obtenidos del proceso de muestreo, tal como se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 19. Datos del muestreo

CAUDAL MEDIO AGUA (L/s)	TIEMPO (h)
4,2	5

Fuente: Alexandra Bonilla

3.2.1.3 Caudal diario de diseño

A partir de los datos del caudal medio presentados en la Tabla 19; se calcula el caudal de agua a tratar en un día de trabajo, utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{diseño} = Q_m \times t_d$$

Ecuación 2

Donde:

$Q_{diseño}$ = Caudal de diseño en m³/d

Q_m = Caudal medio en L/h

t_d = Tiempo diario de trabajo en horas

$$Q_{diseño} = 15120 \frac{L}{h} \times 5 h = 75600 \frac{L}{d}$$

$$Q_{diseño} = 75.6 \frac{m^3}{d}$$

3.2.1.4 Caudal Máximo

Se estima a partir del caudal diario de diseño, que para este caso será de 75.6 m³/d y considerando que es el caudal máximo que va a ingresar en la planta de tratamiento, se establecerán los tiempos de retención requeridos en cada una de las fases implementadas en la planta de tratamiento. A la vez se emplea el coeficiente de punta (kp) el cual es la relación directa entre el caudal medio y el de diseño, este valor está entre el 1.5 y el 2.5;

como lo establece el autor Terence, sin embargo se considera como valor ideal 1.8 utilizado en la ecuación siguiente:

$$Q_{m\acute{a}x} = kp * Q_m$$

Ecuación 3

Donde:

$Q_{m\acute{a}x}$ = Caudal máximo en m³/d

kp = Coeficiente punta

Q_m = Caudal medio L/s

De tal manera que:

$$Q_{m\acute{a}x} = 1.8 * 4.2 \frac{L}{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 7.56 \frac{L}{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 136.08 \frac{m^3}{d}$$

3.2.1.5 Caudal mínimo diario

Este caudal se relaciona con aquella época en la que no se presentan fenómenos de lluvias y más bien se da una etapa de sequía por lo cual no existe presencia de un mayor nivel de agua, en cuanto a descarga hacia el sistema de tratamiento. Para ello se toma en cuenta el valor de la constante **k**(entre el 0,3 y 0,5) y el caudal medio tal como lo indica el autor Terence. De este modo se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{m\acute{i}n} = k * Q_m$$

Ecuación 4

Donde:

$Q_{m\acute{i}n}$ = Caudal mínimo en m³/d

k = Constante (0,3)

Q_m = Caudal medio L/s

De este modo se obtendrá:

$$Q_{\min} = 0,3 * 4.2 \frac{L}{s}$$

$$Q_{\min} = 1.26 \frac{L}{s}$$

$$Q_{\min} = 22.68 \frac{m^3}{d}$$

3.2.2 Cálculos del dimensionamiento de la planta de tratamiento de lodos

3.2.2.1 Caja de revisión

3.2.2.1.1 Cálculo de volumen de la caja de revisión

Con ayuda de la Ecuación 1 se encontrará el volumen, considerando un tiempo de 1 segundo.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$V = Q * t$$

$$V = 0.0042 \frac{m^3}{s} * 1 s$$

$$V = 0.0042 m^3$$

Según la Norma Colombiana RAS el factor de seguridad que siempre se debe considerar en el diseño de una estructura establecida para fines de tratamiento de aguas, debe ser de 1.15, por lo cual se tomará en consideración un volumen de la caja de revisión, igual a 0.50 m³.

3.2.2.1.2 Cálculo de dimensiones de la caja de revisión.

Para la caja de revisión y considerando la finalidad por la cual ésta se va a diseñar, los valores considerados tanto para el largo como para el ancho de la misma serán asumidos de 1m correspondientemente.

3.2.2.2 Rejillas

3.2.2.2.1 Criterios de diseño

Para el dimensionamiento de rejillas se ha tomado en cuenta los criterios de diseño establecidos en la Norma RAS 2000, en la que se plantea que la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre:

- ✓ 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente, se debe utilizar un rango de velocidades entre varillas de 0.3 y 0.6 m/s
- ✓ 0.3 y 0.9 m/s para rejillas limpiadas mecánicamente, se debe utilizar un rango de velocidad entre varillas de 0.3 y 0.9 m/s

3.2.2.2.2 Dimensionamiento

Para poder dimensionar las rejillas es necesario conocer la velocidad del efluente a tratar antes de ingresar al sistema de tratamiento y así establecer una comparación de los parámetros de velocidad y abertura de las rejillas. En base a la mencionada Norma RAS se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

Tabla 20. Medidas típicas del ancho del canal de rejas y separación entre barras de limpieza manual.

Ancho del canal (b) en cm	40, 50,60,90,100,125,160,190,200,225,250
---------------------------	------------------------------------------

Separación entre barras (e) en cm	2,3,4,5,6,9,10
------------------------------------------	----------------

Fuente. NORMA RAS 2000., Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, Pp 51.

3.2.2.2.2.1 Pérdida de carga

Las pérdidas de carga a través de las rejillas dependerán de la frecuencia con la que se limpien y de la cantidad de material basto que llevan las aguas. Para este caso se tomará en cuenta el coeficiente de pérdida para rejillas.

Tabla 21. Coeficiente de pérdida para rejillas

Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Fuente NORMA RAS 2000., Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, Pp 51.

3.2.2.2.2.2 Cálculo del área

Para este cálculo se debe tener en cuenta que la velocidad debe estar en un rango medio de 0,6 m/s y máxima de 1,2 m/s. En este caso se empleará la velocidad media especificada.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 5

Donde:

v= Velocidad m/s

Q= Caudal, m³/s

A= área, m²

- Despejando el área tendremos:

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{0.0021 \text{ m}^3/s}{0.6 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.0035 \text{ m}^2$$

3.2.2.2.2.3 Cálculo de la altura del tirante de agua

Para este cálculo se tomará en cuenta la Tabla 17, en la cual bajo los parámetros de la Norma RAS se considera un ancho de canal igual a 0.40 m

$$A = h * b$$

Ecuación 6

Donde:

A= área, m²

h= altura, m

b= ancho asumido, m

- Despejando la altura tendremos:

$$h = \frac{A}{b}$$

$$h = \frac{0.0035 \text{ m}^2}{0.40 \text{ m}}$$

$$h = 0.009 \text{ m}$$

3.2.2.2.2.4 Altura del canal

Se considera la altura de seguridad para obtener la altura total.

$$H = h + h_s$$

Donde:

H = altura total, m

h_s = altura de seguridad asumida, m

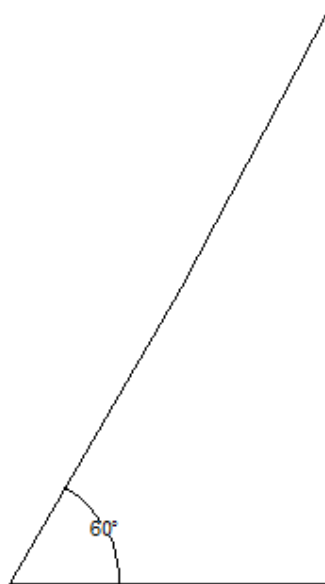
De tal manera se tendrá:

$$H = 0.009m + 0.4m$$

$$H = 0.41 \text{ m}$$

3.2.2.2.5 Cálculo de la longitud de barras

Considerando un ángulo de 60° de inclinación, tendremos:



$$\text{sen } 60^\circ = \frac{H}{L}$$

Donde

H= Altura del canal en m

L= Longitud de barras en m

De este modo se obtendrá:

$$L = \frac{H}{\text{sen } 60^\circ}$$

$$L = \frac{0.41m}{\text{sen } 60^\circ}$$

$$L = 0.47 \text{ m}$$

3.2.2.2.2.6 Cálculo de la suma de separaciones entre barras

De acuerdo al ángulo en el que se encontrarán ubicadas las rejillas, además del largo de las mismas; se tomará un ancho asumido igual a 0,30 m. Con una separación entre barras como se presenta en la Tabla 20, según la Norma RAS, se considera un valor de 0.04 m y un espesor de barras de 0.006 m.

$$b_g = \left(\frac{b - e}{s + e} + 1 \right) e$$

Ecuación 9

Donde:

b= ancho, m

e= separación entre barras, m

s= espesor máximo de barras, m

$$b_g = \left(\frac{0.40m - 0.04m}{0.006m + 0.04m} + 1 \right) 0.04 \text{ m}$$

$$b_g = 0.35 \text{ m}$$

3.2.2.2.2.7 Cálculo del número de barrotes

$$n = \frac{b}{e + s}$$

Ecuación 10

$$n = \frac{0.3 \text{ m}}{0.04 \text{ m} + 0.006 \text{ m}}$$

$$n = 8.70$$

Por motivo de construcción se tomará 9 como número total de barrotes.

3.2.2.2.8 Cálculo de pérdida de carga

Para poder efectuar el cálculo de la pérdida de carga se consideran los datos establecidos en la Tabla 10 basada en la Norma RAS, en la cual debido a que se han elegido barras de forma circular en este caso; se toma un valor de coeficiente de pérdida igual a 1.79.

$$h_f = \beta \left(\frac{s}{e} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{V^2}{2g} \text{ sen } \delta$$

Ecuación 11

Donde:

h= Diferencia de las alturas antes y después de las rejillas, m

s= espesor máximo de las barras, m

e= separación entre las barras, m

$\frac{V^2}{2g}$ = Carga de velocidad antes de la rejilla, m

δ = ángulo de inclinación de las barras

β = factor dependiente de la forma de las barras.

$$h_f = 1.79 \left(\frac{0.006 \text{ m}}{0.04 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{(0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \text{ sen } 60$$

$$h_f = 0.00226926442 \text{ m}$$

3.2.2.3 Tanque de igualación

3.2.2.3.1 Dimensionamiento

Debido a la necesidad de regular el flujo de caudal, considerando que el tiempo de dragado son cinco horas diarias y la planta de tratamiento no puede trabajar sólo en este lapso de tiempo sino las 24 horas del día para tener una labor eficiente de la misma; se ha considerado el diseño del tanque de igualación. Por lo cual se ha dividido el caudal para 24, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 22. Tabla de caudal distribuido para 24 horas de trabajo.

Hora	Caudal (m³/h)	volumen vertido en intervalo de tiempo (m³)
1	3,15	3,15
2	3,15	3,15
3	3,15	3,15
4	3,15	3,15
5	3,15	3,15
6	3,15	3,15
7	3,15	3,15
8	3,15	3,15
9	3,15	3,15
10	3,15	3,15
11	3,15	3,15
12	3,15	3,15
13	3,15	3,15
14	3,15	3,15
15	3,15	3,15
16	3,15	3,15
17	3,15	3,15
18	3,15	3,15
19	3,15	3,15
20	3,15	3,15
21	3,15	3,15
22	3,15	3,15
23	3,15	3,15

24	3,15	3,15
25	3,15 (m ³ /h)	75,6 (m ³)

Fuente. Alexandra Bonilla

En la Tabla 19, la segunda columna corresponde al caudal por cada hora en la que trabajará el tanque de igualación, mientras la tercera columna se refiere al volumen vertido por cada hora y consecuentemente es igual a la columna dos; esto debido a que el caudal conocido es específico en cinco horas trabajadas por la draga y que han sido distribuidos para un día completo de 24 horas.

Al momento de diseñar el tanque de igualación se deberán tomar en cuenta los criterios establecidos por Lozano-Rivas, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 23. Parámetros recomendados para diseño de tanques de igualación

PARÁMETRO	VALOR O RANGO
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	12 a 24 horas
Potencial de óxido-reducción (POR)	> -100 mV
Profundidad máxima del tanque	4,6 m
Borde libre recomendado	1 m

Fuente. Lozano-Rivas, Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012

Bajo las características anteriormente presentadas se debe seleccionar la bomba que llevará un flujo constante hacia los siguientes pasos de depuración, se tomará un valor de bombeo ligeramente por debajo del caudal de descarga estimado de 3,15 (m³/h). Para este caso específico el valor a considerarse será de 3,15 (m³/h). El valor estimado será considerado para evitar posible cavitación de la bomba.

3.2.2.3.1.1 Cálculo del volumen del tanque

$$V_t = (f_s * V_v) * \frac{24 \text{ horas}}{t_f}$$

Ecuación 12

Donde:

V_t = Volumen del tanque de igualación, m^3

f_s = Factor de seguridad asumido del 20%

V_v = Volumen vertido acumulado, m^3

t_f = tiempo de flujo, horas

$$V_t = (0.20 * 75,6 \text{ m}^3) * \frac{24 \text{ horas}}{24 \text{ horas}}$$
$$V_t = 15,12 \text{ m}^3$$

3.2.2.3.1.2 Cálculo potencia del mezclador

Para la potencia del mezclador es necesario tener en cuenta que:

- Para aguas con SST >200 mg/L debe ser de 15 a 30 W/ m^3 de tanque
- Para aguas con SST <200 mg/L debe ser de 4 a 8 W/ m^3 de tanque

Para este caso el valor para SST es de 400 mg/l, con un tanque de volumen $198,288 \text{ m}^3$, por lo cual se asume una potencia de 20 W/ m^3 de tanque por lo que el mezclador presentará una potencia de:

$$P_m = \frac{20 \text{ W}}{m^3 \text{ de tanque}} * V_t$$

Ecuación 13

Donde:

P_m = Potencia del mezclador, W

$$P_m = \frac{20 \text{ W}}{m^3 \text{ de tanque}} * 15,12 \text{ m}^3$$

$$P_m = 302,4 \text{ W}$$

A partir del cálculo obtenido se deberá buscar una potencia comercial un poco mayor a la encontrada y que garantice una alimentación de aire entre 9 y 15 litros de aire por minuto para evitar que se desarrollen condiciones anaerobias.

3.2.2.4 Sedimentador Primario

3.2.2.4.1 Dimensionamiento

Debido al caudal que se va a manejar se ha escogido un sedimentador de tipo rectangular considerando los parámetros de diseño establecidos por Aurelio Hernández, y presentados en las tablas siguientes.

Tabla 24. Velocidades terminales a caudal medio

Decantación primaria	Velocidad a caudal medio		
	Valor mínimo m/h	Valor medio m/h	Valor máximo m/h
Decantadores circulares	1.0	1.5	2.0
Decantadores rectangulares	0.8	1.3	1.8

Fuente: Aurelio Hernández., Manual de depuración Uralita., Pp 96.

Tabla 25. Velocidades terminales a caudal máximo.

Decantación primaria	Velocidad a caudal medio		
	Valor mínimo m/h	Valor medio m/h	Valor máximo m/h
Decantadores circulares	2.0	2.5	3.0
Decantadores rectangulares	1.8	2.2	2.6

Fuente: Aurelio Hernández., Manual de depuración Uralita., Pp 96.

Para ciertos cálculos aquí presentados será necesario el uso de un determinado tiempo de retención; en caso de que mediante la ejecución de uno de los cálculos no sea posible la obtención de este dato, se tomará en consideración el tiempo de retención presentado en la Tabla N° 25.

Tabla 26. Tiempo de retención para sedimentadores

Decantación primaria	Tiempo de retención		
	Valor mínimo h	Valor medio h	Valor máximo h
Tiempo de retención para caudal medio.	1.5	2.0	3.0
Tiempo de retención para caudal máximo	1.0	1.5	2.0

Fuente: Aurelio Hernández., Manual de depuración Uralita., Pp 98.

3.2.2.4.1.1 Cálculo del área superficial del sedimentador

Para el cálculo del área del sedimentador se toma el valor mínimo de velocidad a caudal medio, que considerando la forma rectangular del mismo será para este caso igual a 1.8 m/h.

$$A = \frac{Q}{v_c}$$

Ecuación 14

Donde:

A = Área del sedimentador, m²

Q = Caudal de diseño, m³/h

v_c = Velocidad terminal a caudal máximo, m/h

$$A = \frac{3.15 \text{ m}^3/h}{1.8 \text{ m/h}}$$

$$A = 1,75 \text{ m}^2$$

3.2.2.4.1.2 Cálculo del ancho del sedimentador

Se considera 1/3 en cuanto a la relación ancho/largo.

$$b = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

Ecuación 15

Donde:

b = Ancho del sedimentador, m

A = Área superficial del sedimentador, m^2

$$b = \sqrt{\frac{1.75 \text{ m}^2}{3}}$$

$$b = 0.76 \text{ m}$$

3.2.2.4.1.3 Cálculo de largo del sedimentador

$$L_g = 3b$$

Ecuación 16

Donde:

L_g = Largo del sedimentador, m

b = Ancho del sedimentador, m

$$L_g = 3 * 0.76 \text{ m}$$

$$L_g = 2.29 \text{ m}$$

Debido a fines de construcción se aproximará a 1 y 3 metros para el ancho y largo del sedimentador respectivamente.

3.2.2.4.1.4 Cálculo del volumen del sedimentador.

La altura considerada para el sedimentador tomando en cuenta los criterios de diseño de la OPS (1.5-2.5 m) por lo cual para este caso se tomará el valor de 1.5 m.

$$V = L_g * b * H$$

Ecuación 17

Donde:

V = Volumen del sedimentador, m

L_g = Largo del sedimentador, m

b = Ancho del sedimentador, m

H = Altura del sedimentador, 1.5 m

$$V = 3 \text{ m} * 1 \text{ m} * 1.5 \text{ m}$$

$$V = 2.63 \text{ m}^3$$

3.2.2.4.1.5 Cálculo de Tiempo de retención hidráulico

$$T_{rh} = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 18

Donde:

T_{rh} = Tiempo de retención hidráulica, horas

V = Volumen del sedimentador, m³

Q = Caudal, m³/h

$$T_{rh} = \frac{2.63 \text{ m}^3}{3.15 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_{rh} = 1.43 \text{ h}$$

$$T_{rh} = 2 \text{ h}$$

3.2.2.5 Sistema de lodos activados

3.2.2.5.1 Dimensionamiento

Los datos que se usan a continuación son utilizados han sido tomados de las tablas VII y VI según los criterios de Metcalf& Eddy.

- Tiempo de retención celular, $\theta_c = 20 \text{ días}$
- Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación X= 4 kg/m³.

3.2.2.5.1.1 Volumen del reactor

Para determinar el volumen del reactor se consideran los criterios de diseño establecidos por Jaime Romero Rojas, de tal modo que se toman para los cálculos pertinentes los valores típicos considerados en la siguiente tabla.

Tabla 27. Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados

COEFICIENTES	UNIDADES PARA SSV	RANGOS	TÍPICO
Y	Mg SSV/ MG DBO5	0.4	0.6
Kd	d-1	0.0025-0.0075	0.06

K	mg/L DBO ₅	25-100	60
---	-----------------------	--------	----

Fuente. Jaime Romero Rojas., Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño., Página 454.

3.2.2.5.1.2 Cálculo de la DBO₅ soluble.

$$DBO_{soluble} = DBO_5 - 0.6 SS$$

Ecuación 19

Donde:

DBO_5 = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días, mg/L.

SS= Sólidos suspendidos al salir del sedimentador primario, mg/L

$$DBO_{soluble} = 112 \text{ mg/L} - 0.6 \left(1689.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$DBO_{soluble} = 901.76 \text{ mg/L}$$

3.2.2.5.1.3 Cálculo volumen del reactor.

$$V = \frac{\theta_c Y (S_o - S) Q}{X (1 + k_d \theta_c)}$$

Ecuación 20

Donde:

V = Volumen del reactor, m³

θ_c = Tiempo de retención celular, 20 días

S_o = Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/m³

S = Concentración de DBO en el efluente, kg/m³

Q = Caudal de agua residual a tratar, m³/d

X = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, kg/m³

K_d = Coeficiente de degradación endógena, d⁻¹

$$V = \frac{20 * 0.6 (0.902 - 0.789) * 3.15}{4 (1 + 0.06 * 20)}$$

$$V = 0.48 \text{ m}^3$$

3.2.2.5.1.4 Dimensiones para el tanque de aireación

De acuerdo al volumen que se manejará en el reactor se tomará a consideración la dimensión del tanque de tal manera que sea posible que se ejecute el proceso de aireación sin ningún inconveniente.

$$b = 1,5m$$

$$L = 2,0m$$

$$H = 1m$$

3.2.2.5.1.5 Cálculo del tiempo de retención hidráulica

$$\theta_c = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 21

Donde:

V= Volumen del tanque de aireación, m³

Q= caudal de entrada, m³/d.

$$\theta_c = \frac{4,44 \text{ m}^3}{3.15 \text{ m}^3/h}$$

$$\theta_c = 0.15 \text{ h}$$

Que se considerará como un límite máximo de media hora a una hora.

3.2.2.5.1.6 Cálculo de relación alimento/microorganismo

$$\frac{F}{M} = \frac{(S_o - S)}{X * V} * Q$$

Ecuación 22

Donde:

F/M= Relación alimento/ microorganismo, d⁻¹

S_o= Concentración de DBO o DQO en el afluente, kg/m³

S= Concentración de DBO en el efluente, kg/m³

X= Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, kg/m³

$$\frac{F}{M} = \frac{(0.902 - 0.789)}{4 * 6.38 \text{ m}^3} * 3.15 \text{ m}^3/h$$

$$\frac{F}{M} = 0.18 \text{ d}^{-1}$$

3.2.2.5.1.7 Cálculo de producción de lodo observada

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d(\theta_c)}$$

Ecuación 23

$$Y_{obs} = \frac{0.6 \text{ kg de célula producida/KgMO}}{1 + k_d 0.06 \text{ d}^{-1}(20 \text{ d})}$$

$$Y_{obs} = 0.27 \text{ kg de célula producida/kgMO}$$

3.2.2.5.1.8 Cálculo de producción diaria de fango a purgar

$$P_X = Y_{obs} Q (S_o - S) * (10^3 \frac{g}{Kg})^{-1}$$

Ecuación 24

Donde

P_x= Producción diaria neta de fango activado, medida en término de SS volátiles, kg/d.

Y_{obs} = Producción observada, kg/kg.

Q, S_o , S = Según definición anterior.

$$P_x = 0.27 * 3.15 * (901.76 - 789.76) * (10^3 \frac{g}{kg})^{-1}$$

$$P_x = 0.09 \text{ kg/d}$$

3.2.2.5.1.9 Cálculo de la determinación de necesidad de oxígeno

Para el cálculo de la necesidad de oxígeno en el dimensionamiento de lodos activados se establece según el autor Jaime Romero Rojas, valores entre 0.45-0.068 para el factor de conversión de DBO_5 en DQO_L , por lo cual para el presente caso se emplea el valor correspondiente a 0.45.

De este modo se obtendrá:

$$kg \frac{O_2}{d} = \frac{Q(S_o - S) * (10^3 \frac{g}{kg})^{-1}}{f} - 1.42 * P_x$$

Ecuación 25

Donde

f= Factor de conversión de DBO_5 EN DQO_L

$$kg \frac{O_2}{d} = \frac{3.15(901.76 - 789.76) * (10^3 \frac{g}{kg})^{-1}}{0.45} - 1.42 (0.09)$$

$$kg \frac{O_2}{d} = 0.65$$

3.2.2.5.2 Purga de fangos

3.2.2.5.2.1 Cálculo de caudal de purga

$$Q_w'' = \frac{V}{\theta_c}$$

Ecuación 26

$$Q_w'' = \frac{0.48 \text{ m}^3}{20 \text{ d}}$$

$$Q_w'' = 0.024 \text{ m}^3/\text{d}$$

3.2.2.5.2.2 Cálculo de la potencia para que se ejecute la aireación por soplates

$$P_w = \frac{wRT_1}{29.7 \text{ ne}} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

Ecuación 27

Donde:

P_w = Potencia necesaria para cada soplante, kW

w = Caudal de aire en peso, kg/s.

R = Constante universal de los gases = 8.314 kJ/kmo. °K

T_1 = Temperatura absoluta a la entrada, °K

P_2 = Presión absoluta a la entrada, atm.

P_1 = Presión absoluta a la salida, atm

n = (k-1)/k = 0.283 (para el aire)

K = 1.395 (para el aire)

e = Eficiencia (en compresores normalmente entre 0.70 y 0.90)

$$P_w = \frac{0.63 * 8.314 * 287}{29.7 * 0.283 * 0.75} \left[\left(\frac{1.7}{0.95} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$P_w = 42.69 \text{ kW}$$

3.2.2.6 Sedimentador secundario

3.2.2.6.1 Dimensionamiento

3.2.2.6.1.1 Cálculo del área del sedimentador

Para el cálculo del área del sedimentador es necesario tener en cuenta la carga superficial del mismo, la cual tiene un valor típico empleado de $32 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, según lo establece el autor R.S. Ramalho.

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

Ecuación 28

Donde:

A = Área, m^2

Q = Caudal a tratar en el sedimentador, m^3/h .

C_s = Carga superficial.

$$A = \frac{75.6 \text{ m}^3/\text{d}}{32 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

$$A = 2.36 \text{ m}^2$$

3.2.2.6.1.2 Cálculo de diámetro del sedimentador

$$D = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{1/2}$$

Ecuación 29

Donde:

D = Diámetro, m

A = Área, m^2

$$D = \left(\frac{4 * 2.36 m^2}{3.1416}\right)^{1/2}$$

$$D = 1.73 m$$

Se considera que un valor del 25% corresponde a un reparto en la zona central, se obtendrá lo siguiente:

$$D_r = D * 0.25$$

Ecuación 30

$$D_r = 1.73 m * 0.25$$

$$D_r = 0.43 m$$

3.2.2.6.1.3 Cálculo de profundidad de reparto

Para calcular la profundidad se toma en cuenta un rango entre 1/3 y un 1/5 de la profundidad máxima del decantador, de esta manera se obtiene una altura de reparto, que considera un valor medio, así:

$$h_r = \frac{1}{4} * H$$

Ecuación 31

Donde:

H = Profundidad, según parámetros de diseño se considera una profundidad entre 3-5, m

$$h_r = \frac{1}{4} * 4 \text{ m}$$

$$h_r = 1 \text{ m}$$

3.2.2.6.1.4 Cálculo de carga sobre el vertedero

$$C_{vertedero} = \frac{Q}{\pi * D}$$

Ecuación 32

Donde

$C_{vertedero}$ = Carga sobre el vertedero, $\text{m}^3/\text{d} * \text{m}$

Q= Caudal, m^3/d

$$C_{vertedero} = \frac{75.6 \text{ m}^3/\text{d}}{3.1416 * 1.73 \text{ m}}$$

$$C_{vertedero} = 13.87 \text{ m}^3/\text{d} * \text{m}$$

La inclinación de fondo para el sedimentador será de 17° .

3.2.2.7 Digestión anaerobia de lodos

3.2.2.7.1 Dimensionamiento

Para poder realizar el dimensionamiento del proceso de digestión anaerobia, es necesario tomar en cuenta los valores establecidos según lo menciona el autor Jaime Romero Rojas con algunos de los parámetros determinados en las tablas siguientes para cada una de las etapas que contempla el proceso de digestión anaerobia.

3.2.2.7.1.1 Volumen del digestor

Para poder proceder en el cálculo del volumen del digestor se toma en cuenta para el parámetro θ_c diseño el valor de 28, considerando los valores presentados en la tabla para los siguientes parámetros.

Tabla 28. Edad de lodos para diseño de digestores anaerobios de mezcla completa.

Temperatura de operación, oC	θ_c mínimo, d	θ_c diseño, d
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Fuente. Jaime Romero Rojas., Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño.,Pp 796.

3.2.2.7.1.2 Producción Diaria de Biomasa

Para poder proceder con dicho cálculo es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros.

Tabla 29. Coeficientes cinéticos para la digestión anaerobia

Sustrato	Coeficiente	Base	Intervalo	Típico
Lodo Doméstico	Y	gSSV/gDBO	0.04-0.10	0.06
	Kd	d ⁻¹	0.02-0.04	0.03
Ácido graso	Y	gSSV/gDBO	0.04-0.07	0.05
	Kd	d ⁻¹	0.03-0.05	0.04
Carbohidrato	Y	gSSV/gDBO	0.02-0.04	0.024

	Kd	d ⁻¹	0.025-0.035	0.03
Proteína	Y	gSSV/gDBO	0.05-0.09	0.075
	Kd	d ⁻¹	0.01-0,02	0.014

Fuente. Jaime Romero Rojas., Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño.,Pp 797.

3.2.2.7.1.3 Cálculo de caudal diario de lodo

Bajo las consideraciones mencionadas anteriormente, y con los criterios contemplados por el autor Jaime Rojas se toma un valor de densidad correspondiente a 1.02.

$$Q_L = \frac{\text{Remoción de ST} * Q}{\delta * H}$$

Ecuación 33

Donde

Q = Caudal, m³/d.

δ = Densidad del lodo

H= Humedad del lodo

$$Q_L = \frac{0.12 \text{ kg/m}^3 * 75.6 \text{ m}^3/\text{d}}{1.02 * 95 \%}$$

$$Q_L = 0.84 \text{ m}^3/\text{d}$$

3.2.2.7.1.4 Cálculo de volumen del digestor

$$V = Q_L * \theta_c$$

Ecuación 34

Donde

θ_c = Edad del lodo, días

$$V = 0.84 \text{ m}^3/\text{d} * 28 \text{ d}$$

$$V = 23.62 \text{ m}^3$$

3.2.2.7.1.5 Cálculo de DBOU (CO)

$$CO = \text{Remoción de DBO} * Q$$

Ecuación 35

Donde

Q = Caudal, m^3/d .

$$CO = 0.0047 \text{ kg}/\text{m}^3 * 75.6 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$CO = 3.25 \text{ kgDBO}/\text{d}$$

3.2.2.7.1.6 Cálculo de carga volumétrica del digestor

$$COV = \frac{CO}{V}$$

Ecuación 36

Donde

COV = Carga volumétrica del digestor, $\text{kgDBO}/\text{m}^3\text{d}$

CO = Carga de DBOU, kgDBO/d

V = Volumen del digestor, m^3

$$COV = \frac{3.25 \text{ kg DBO}/\text{d}}{23.62 \text{ m}^3}$$

$$COV = 0.14 \text{ kg DBO}/\text{m}^3\text{d}$$

3.2.2.7.1.7 Cálculo Producción diaria de biomasa

$$P_x = \frac{Y(S_o - S)Q}{1 + k_d \theta_c}$$

Ecuación 37

Donde

P_x = Masa de tejido producido, kgSV/d.

Y = Coeficiente de producción, kg/kg.

k_d = Constante de respiración endógena, d⁻¹

θ_c = Edad lodos, d

$$P_x = \frac{0.075 \left(0.0047 \frac{kg}{m^3} - 0.0012 \frac{kg}{m^3} \right) 75.6 \frac{m^3}{d}}{1 + 0.014 * 28}$$

$$P_x = 0.13 \text{ kgSV/d}$$

3.2.2.7.1.8 Cálculo de porcentaje de estabilización

$$E = \frac{e * CO - (1.42)(P_x)}{CO} * 100$$

Ecuación 38

Donde

e = eficiencia asumida del reactor.

P_x = Masa del tejido producido, kgSV/d.

CO = Carga de DBOU, kgDBO/d.

$$E = \frac{0.65 * 3.25 \text{ kgDBO}/d - (1.42)(0.13 \text{ kgSV}/d)}{3.25 \text{ kgDBO}/d} * 100$$

$$E = 59.26 \%$$

3.2.2.7.1.9 Cálculo de metano producido

$$V_{CH_4} = 0.35[Q * (S_o - S) - 1.42 P_x]$$

Ecuación 39

Donde:

V_{CH_4} = Volumen de metano producido en condiciones normales, 0°C, 1 atm, m³/d.

0.35 = cantidad teórica de metano producida en la conversión completa de un kg de DBOU a metano y dióxido de carbono, m³CH₄/Kg DBOU

Q = caudal, m³/d.

S₀ = DBOU del afluente, mg/L.

S = DBOU del efluente, mg/L.

P_x = Masa del tejido producido por día, kg/d.

$$V_{CH_4} = 0.35 \left[75.6 \text{ m}^3/d * \left(0.0047 \text{ kg}/\text{m}^3 - 0.0012 \text{ kg}/\text{m}^3 \right) - 1.42 * 0.13 \text{ kgSV}/d \right]$$

$$V_{CH_4} = 0.79 \text{ m}^3/d$$

3.2.2.8 Eras de secado

3.2.2.8.1 Dimensionamiento

Para poder determinar la carga de sólidos que se van a disponer en las eras de secado se determinará la población, considerando la relación de habitantes equivalentes.

$$PE = \frac{V * DBO}{C}$$

Ecuación 40

Donde:

PE = Población equivalente.

V = Volumen, m³/d.

DBO = DBO₅ del efluente, g/m³

C = Carga orgánica contaminante típica per cápita, g/hab*día con un valor típico de 60

$$PE = \frac{75.6 * 112}{60}$$

$$PE = 141 \text{ hab.}$$

3.2.2.8.1.1 Cálculo de carga de sólidos

$$SS = SS * Q * \left(\frac{1}{Población} \right)$$

Ecuación 41

Donde:

Q = Caudal, m³/d.

SS = Sólidos en suspensión, mg/L.

$$SS = 0.118 * 691.2 * \left(\frac{1}{141} \right)$$

$$SS = 63.36 \text{ g SS/hab} * d$$

3.2.2.8.1.2 Cálculo de sólidos suspendidos que salen.

$$C = \frac{P * Cant \left(\frac{gSS}{d * hab} \right)}{1000g}$$

Donde:

P = Población

$Cant$ = Contribución per cápita.

$$C = \frac{141 * 63.36}{1000g}$$

$$C = 8.94 \text{ kgSS/dhab}$$

3.2.2.8.1.3 Cálculo de masa de sólidos suspendidos

$$M_{sd} = (0.5 * 0.5 * 0.7 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$M_{sd} = (0.5 * 0.5 * 0.7 * 8.94) + (0.5 * 0.3 * 8.94)$$

$$M_{sd} = 2.90 \frac{KgSS}{hab * d}$$

3.2.2.8.1.4 Cálculo de volumen diario de lodos digeridos

$$V_{Ld} = \frac{M_{sd}}{\delta_{lodo}(\%sol/100)}$$

Donde

M_{sd} = Masa de sólidos suspendidos

δ_{lodo} = Densidad del lodo, valor considerado 1.04kg/L.

% Sólidos = Contenidos en el lodo, 12%.

$$V_{Ld} = \frac{2.90}{1.04(12/100)}$$

$$V_{Ld} = 23.28 \text{ L/d}$$

3.2.2.8.1.5 Cálculo de volumen de lodos a extraerse

$$V_{el} = \frac{V_{Ld} * T_{rh}}{1000}$$

Ecuación 45

Dónde:

V_{Ld} = Volumen diario de lodos digeridos.

T_{rh} = Tiempo de retención hidráulico.

$$V_{el} = \frac{23.28 \text{ L/d} * 20 \text{ d}}{1000}$$

$$V_{el} = 0.46 \text{ m}^3$$

3.2.2.8.1.6 Cálculo de área de lecho de secado

$$A_{ls} = \frac{V_{el}}{H_A}$$

Ecuación 46

Donde:

H_A = Altura del lodo.

$$A_{ls} = \frac{0.46 \text{ m}^3}{0.6 \text{ m}}$$

$$A_{ls} = 0.08 \text{ m}^2$$

3.2.2.8.1.7 Número de eras (Asumido)

$$Número_{eras} = 3$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$B = 1 \text{ m}$$

3.2.3 CÁLCULO PARA DETERMINAR LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES

Tomando en cuenta la importancia en el tratamiento que se quiere aplicar y la finalidad de lo que se quiere llevar a cabo con miras a no solamente tratar el lodo sino que además considerando el nivel de afectación que se presenta en el agua, que pese a no ser de gran magnitud de cualquier modo se debe tener en consideración la remoción principalmente de; DBO, DQO y sólidos suspendidos.

De esta manera se tendrá en consideración para cada una de las etapas más importantes donde se ejecuta esta remoción; cada uno de los niveles de eficiencia que se presenta en las determinadas etapas.

3.2.3.1 Sedimentador Primario

Al presentarse un rango de eficiencia entre el 50-70% en sólidos suspendidos y del 35-45% en DBO y DQO, se ha tomado como porcentaje de remoción teórico asumido del 40% para ambos casos.

Remoción de DBO_5

$$DBO_5 = 112 \text{ mg/L} - \left(\frac{112 \text{ mg/L} * 40}{100} \right)$$
$$DBO_5 = 67.2 \text{ mg/L}$$

Remoción de DQO

$$DQO = 486 \text{ mg/L} - \left(\frac{486 \text{ mg/L} * 40}{100} \right)$$

$$DQO = 291.6 \text{ mg/L}$$

Remoción de SS

$$SS_{Removida} = 2816 \text{ mg/L} - \left(\frac{2816 \text{ mg/L} * 40}{100} \right)$$

$$SS_{Removida} = 1689.6 \text{ mg/L}$$

3.2.3.2 Lodos activados

En el proceso de lodos activados se presenta una remoción de 75-95% en todos los parámetros, para este caso se ha considerado una remoción del 93%.

Remoción de DBO_5

$$DBO_5 = 67.2 \text{ mg/L} - \left(\frac{67.2 \text{ mg/L} * 93}{100} \right)$$

$$DBO_5 = 4.704 \text{ mg/L}$$

Remoción de DQO

$$DQO = 291.6 \text{ mg/L} - \left(\frac{291.6 \text{ mg/L} * 93}{100} \right)$$

$$DQO = 20.41 \text{ mg/L}$$

Remoción de SS

$$SS_{Removida} = 1689.6 \text{ mg/L} - \left(\frac{1689.6 \text{ mg/L} * 93}{100} \right)$$

$$SS_{Removida} = 118.27 \text{ mg/L}$$

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Resultado del dimensionamiento de la planta de tratamiento

Luego de haber realizado las mediciones y cálculos correspondientes a cada uno de los procesos que constituirán la planta de tratamiento de lodos, tomando en consideración que la misma contempla a su vez el tratamiento del agua que retorna a la laguna debido a que debe cumplir con los límites permisibles establecido según la normativa ambiental, para descargas a un cuerpo de agua dulce y agua utilizada para fines recreativos.

3.3.2 Resultado de dimensionamiento de caja de revisión

Considerando que se necesita contener un caudal considerable material dragado de la laguna se optó por el diseño de una caja de revisión la cual deberá tener un metro de profundidad y un metro de lado, para que de este modo en la base se dispongan dos canales en los cuales se ubicarán las rejillas.

3.3.3 Resultado de dimensionamiento de rejillas

Una vez que se han tomado en cuenta los criterios establecidos para el diseño de rejillas tanto de limpieza manual como mecánica, se seleccionó las de limpieza manual, debido a que las mismas se van a encontrar dispuestas en dos canales, con el objetivo de distribuir de manera equitativa el caudal y que éste sea mucho más manejable, tomando en cuenta que la descarga será constante; se ha asumido una velocidad de 0.6 m/s y un ángulo de inclinación de 60°, a partir de ello se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 30. Resultado dimensionamiento de rejillas

Parámetro	Valor
Caudal	0.0021 m ³ /s

Velocidad de aproximación a las rejillas	0.6 m/s
Ángulo de inclinación de las rejillas	60°
Separación entre las barras de las rejillas	0.04 mm
Espesor de la varilla	0.006 m
Coeficiente de pérdida (varilla circular)	1.79
Altura de seguridad	0.4 m
Área	0.0035 m ²
Ancho	0.40 m
Tirante de agua	0.009 m
Altura del canal	0.41 m
Longitud de barras	0.47 m
Número de barrotes	9
Pérdida de carga	0.0023 m

Fuente. Alexandra Bonilla

3.3.4 Resultado del dimensionamiento del tanque de igualación

En vista de que se requiere hacer que la planta de tratamiento cumpla con un período de trabajo de 24 horas diarias, fue necesario dividir el caudal que se trabaja en 5 horas de dragado, para las 24 horas que trabajará la planta, estableciendo un caudal de 28,8 m³/s.

A partir de este dato se obtuvo:

Tabla 31. Resultado dimensionamiento de tanque de igualación

Parámetro	Valor
Factor de seguridad asumido	20 %

Volumen vertido acumulado	75.6 m ³
Tiempo de flujo	24 horas
Volumen del tanque	15.12 m ³
Potencia de tanque	20 W
Potencia del mezclador	302.4 W

Fuente. Alexandra Bonilla

3.3.5 Resultado de dimensionamiento de sedimentador primario

El proceso de tratamiento de lodos en sí considera la existencia de etapas previas, en vista de que existe cierta carga contaminante en el agua que es devuelta hacia la laguna, estos procesos se establecen como un conjunto para tratar no sólo el lodo sino también el agua que se draga, esto se inicia con un sedimentador primario de forma rectangular para remover parte de los lodos, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 32. Resultados dimensionamiento de sedimentador primario

Parámetro	Valor
Caudal	3.15 m ³ /h
Velocidad terminal	1.8 m/h
Altura	1.5 m
Distancia a colocar la cámara deflectora	0.5 m
Ángulo de inclinación	15°
Área superficial	1.75 m ²
Ancho	1 m
Largo	3 m

Volumen	2.63 m ³
Tiempo de retención	3.15 h

Fuente. Alexandra Bonilla

3.3.6 Resultado del dimensionamiento de lodos activados

En el sistema de lodos activados podemos contemplar los siguientes datos obtenidos:

Tabla 33. Resultados dimensionamiento lodos activados

Parámetros	Valor
Tiempo de retención celular	20 días
Coeficiente de producción celular	0.6 kg de células producida/kg MO
Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque	4 kg/m ³
Coeficiente de degradación endógena	0.06 d ⁻¹
Concentración de DBO del afluente	0.902 kg/m ³
Concentración de DBO del efluente	0.789 kg/m ³
Volumen del reactor	0.48 m ³
Largo	2.0 m
Ancho	1.5 m
Altura	1 m
Tiempo de retención hidráulica	0.15 h
Relación alimento/ microorganismos F/M	0.18 d ⁻¹
Producción de lodo observada	0.27 kg/d
Producción diaria de fango	0.09 Kg/d

Necesidad de oxígeno	0.65 kg O ₂ /d
Caudal de purga	0.024 m ³ /d
Potencia de aireación	42.69 kW

Fuente. Alexandra Bonilla

3.3.7 Resultados del dimensionamiento de sedimentador secundario

Para los cálculos efectuados en cuanto al sedimentador secundario se ha tomado en cuenta una forma circular.

Tabla 34. Resultados dimensionamiento sedimentador secundario

Parámetro	Valor
Carga superficial	32 m ³ /m ² *d
Área superficial	2.36 m ²
Altura del sedimentador	4 m
Diámetro del sedimentador	1.73 m
Diámetro del reparto central	0.43 m
Altura de reparto	1 m
Carga sobre el vertedero de salida	13.87 m ³ /d*m
Ángulo de inclinación	17°

Fuente. Alexandra Bonilla

3.3.8 Resultados del dimensionamiento de digestor anaerobio

Todos los lodos que sean producidos se direccionarán hacia un digestor anaerobio en el cual estos pasarán por un proceso de estabilización, en este digestor se presentan las características presentes en la tabla siguiente:

Tabla 35. Resultados dimensionamiento digestión anaerobia de lodos.

Parámetros	Valor
Caudal diario de lodo	0.84 m ³ /d
Volumen del digestor	23.62 m ³
Carga de DBOU (CO)	3.25 kgDBO/d
Carga volumétrica del digestor (COV)	0.14 kgDBO/d
Producción diaria de biomasa	0.13 kgSV/d
Porcentaje de estabilización	59.26 %
Volumen de metano producido	0.79 m ³ /d

Fuente. Alexandra Bonilla

3.3.9 Resultados del dimensionamiento de eras de secado

Considerando que luego de todos los procesos por los cuales ha pasado el lodo, se procede a su disposición final en eras de secado las mismas que tendrán:

Tabla 36. Resultados dimensionamiento eras de secado

Parámetro	Valor
Carga de sólidos	63.36 g SS/hab*d
Sólidos suspendidos que salen	8.94 kgSS/dhab
Masa de sólidos suspendidos	2.90 kg SS/hab*d
Volumen diario de lodos digeridos	23.28 L/d
Volumen de lodos a extraerse	0.46 m ³
Área de lecho de secado	0.008 m ²

Número de eras	3
Largo de eras de secado	2 m
Ancho de eras de secado	1 m
Altura de eras de secado	0.6 m

Fuente. Alexandra Bonilla

El lodo que sea extraído desde esta etapa debido a sus características podrá ser empleado como abono o en su defecto enriquecido con materia orgánica para incrementar el nivel de nutrientes y de este modo trabajarse por método de compostaje de tal modo que representará un beneficio económico al ser comercializado si así se desea. Además se puede contemplar la posibilidad de emplear el lodo como relleno en ciertos terrenos de ser necesario.

Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales

Factore Ambientales		Componentes físicos									Componentes bióticos				Componente socio-económico			Comp. Cultural		Acciones Positivas	Acciones Negativas	Evaluación de Impactos
		Aire			Agua		Suelo			Ecosistema terrestre		Ecosistema acuático					Patrimonio Cultural					
		Material particulado	Olores	Nivel de ruido	Uso del Agua	Calidad del agua	Uso del suelo	Permeabilidad	Calidd del suelo	Aves	Vegetación	Microfauna	Microflora	Invertebrados	Seguridad	Salud laboral		Empleo	Paisaje			
Fase de construcción	Desbroce y limpieza del área		-1 1	-6 1			-4 3	-3 3	-3 2		-3 3				-3 1	9 5	-3 3	-1 1	0 6	-11		
	Excavación con maquinaria	-4 2	-1 1	-4 1			-6 3	-3 3	-3 3			-5 3	-5 3	-6 3	-3 1	5 5			1 11	-75		
	Nivelación del terreno	-2 1		-2 1				-2 3						-3 1	6 4			2 6	11			
	Transporte del material para construcción	-5 1		-3 2										-2 1	7 4			1 5	15			
	Edificación	-2 2		-6 1	-6 5	-2 4	-8 3	-4 3	-4 3	-5 2	-3 2	-4 3	-4 3	-4 3	-4 1	10 5	-4 3	5 3	1 9	-99		
	Generación desechos de construcción				-1 1		-2 1	-1 1			-1 1				-1 1		-2 1	-1 1	0 8	-9		
	Transporte de desechos de construcción	-5 1		-1 1							5 3			4 3	5 3	6 4	8 5	-2 2	4 3	96		
	Mejoramiento de vías de acceso	-6 5		-4 4	-3 4		8 6	-3 2			-4 6				-3 4	8 5	3 6	6 5	3 7	36		
	Acciones Positivas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	1	6	0	-36			
Acciones Negativas		6	2	8	2	1	4	6	3	1	6	3	5	3	6	6	0	4				
Evaluación De Impactos		-54	-2	-41	-42	-9	-8	-43	-27	-10	-25	-27	-27	-18	236	35	39					

3.3.10 Impacto Ambiental

Una vez determinadas las acciones que generan mayor impacto dentro de la respectiva evaluación realizada, se puede verificar que pese a que estas pueden presentar valores elevados, vez ejecutada la identificación de impactos ambientales, de todas las acciones bajo los procedimientos descritos en el Capítulo II, el proyecto presenta un impacto ambiental moderado ya que el valor obtenido se encuentra entre 25 y 50.

En la matriz de Leopold, se puede verificar que las acciones que generan mayor impacto ambiental dentro de la ejecución del presente proyecto son:

- **Excavación con maquinaria**, esta actividad presentará gran generación de material particulado y ruido, por lo cual genera gran impacto a nivel de aire. En cuanto a suelo uno de los mayores factores incidentes es el cambio en la calidad de suelo y su permeabilidad. Estos según la matriz de Leopold se consideran impactos negativos ya que presentan una valoración en cuanto a valoración de impactos igual a -75. Sin embargo dentro de los impactos positivos se encuentra principalmente el provocado en el componente socio-económico con la generación de empleo.
- **Edificación**, esta actividad tal como el proceso de excavación, genera impactos negativos que presentan incidencia en la generación de material particulado y ruido que afecta directamente al factor aire. Mientras en el factor suelo provoca afectación a nivel de permeabilidad y calidad del mismo. En cuanto al factor biótico el ecosistema terrestre es el más afectado debido al desalojo vegetal del área. Estos según la matriz de Leopold se consideran impactos negativos ya que presentan una valoración en cuanto a valoración de impactos igual a -99. Por otro lado el impacto positivo más significativo es el provocado a nivel del factor socio-económico, con la generación de empleo.

A partir del análisis general de la matriz se puede evidenciar que el mayor impacto se genera a nivel de aire con un valor de evaluación de impacto igual a -54 para material particulado y -41 para ruido, mientras el impacto generado en suelo presenta un valor de evaluación de impacto igual a -43 para permeabilidad, sin embargo en el caso de este último se debe considerar que el espacio asignado para la construcción de la planta de tratamiento de los lodos de dragado de la laguna, es un área que en la actualidad no cumple con una función específica.

Es por ello que se considera que pese a la generación del impacto ambiental que se puede dar, el beneficio de la construcción de este sistema de tratamiento es mayor; considerando que por medio de la implementación del mismo se cumpliría con los objetivos del Programa de Recuperación de la Laguna.

3.3.11 Análisis de costos

Mediante el análisis de costos del presente proyecto se podrá establecer un presupuesto aproximado en caso de que se llegara a implementar la Planta para los Lodos de Dragado de La Laguna de Colta, Cantón Colta.

3.3.11.1 Análisis de costos unitarios

En este análisis se consideran los valores independientes de cada sección del presupuesto en cuanto a trabajos de ejecución de cada una de las etapas a implementarse en la construcción de la Planta de Tratamiento de Lodos de Dragado de la Laguna de Colta.

3.3.11.2 Presupuesto para la ejecución de la obra

El presupuesto que se presenta consta de cada uno de los costos unitarios y un 20% adicional correspondiente a costos de gasto indirecto a la totalidad del monto de la obra. De este modo tendremos un presupuesto de alrededor de 45190,08 dólares americanos.

Tabla 37. Análisis de costos

DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRAS PRELIMINARES				13128,1
Replanteo y nivelación	m2	2000	1,63	3260
Limpieza y desbroce	m2	2000	1,79	3580
Cerramiento (Postes, alambre puas y excavación)	m	455	13,82	6288,1
CANAL DE ENTRADA Y REJILLAS				425,185
Excavación (altura de 0 hasta 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	2,5	2,23	5,575
Adecuación del fondo de la zanja	m2	2	6,72	13,44
Encofrado recto	m2	1,25	13,92	17,4
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	3	109,37	328,11
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	5	4,98	24,9
Rejillas	u	9	3,42	30,78
Latón perforado	m2	1	4,98	4,98

TANQUE DE IGUALACIÓN				706,335
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	5	2,23	11,596
Adecuación del fondo de la zanja	m2	5,2	6,72	34,944
Encofrado recto	m2	2,75	13,92	38,28
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	1,5	109,37	164,055
Compuerta de volante de acero inoxidable	u	2	213,79	427,58
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	6	4,98	29,88
SEDIMENTADOR PRIMARIO				9756
Excav. h=1 a 22 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	600	2,23	1338
Desalojo de material con volqueta	m3	600	3,2	1920
Compactación mecánica	m2	370	0,98	362,6
Suministro e instalación Tubería PVC 110mm	u	20	10,97	219,4
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	50	109,37	5468,5
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	250	1,79	447,5
AIREADOR				3284,6

Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	120	2,23	267,6
Adecuación del fondo de la zanja	m2	40	6,72	268,8
Encofrado recto	m2	30	13,92	417,6
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	20	109,37	2187,4
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	80	1,79	143,2
SEDIMENTADOR SECUNDARIO				10511,9
Excav. h=1 a 2m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	600	2,23	1338
Desalojo de material con volqueta	m3	600	3,2	1920
Compactación mecánica	m2	370	0,98	362,6
Suministro e instalación Tubería PVC 110mm	u	30	10,97	329,1
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	60	109,37	6562,2
DIGESTOR ANAEROBIO				368,665
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	7	2,23	15,61
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	1,5	109,37	164,055

Malla electrosoldada bmw 15x15 cm	m2	10	4,98	49,8
Encofrado recto	m2	10	13,92	139,2
LECHOS DE SECADO				1388,755
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	10	2,23	22,3
Hormigón S. f _c =210 kg/cm ²	m3	1,5	109,37	164,055
Malla electrosoldada bmw 15x15 cm	m2	36	4,98	179,28
Encofrado recto	m2	36	13,92	501,12
# Eras	u	4	130,5	522
SUBTOTAL				39569,54
GASTOS INDIRECTOS (20%)				5620,54
TOTAL				45190,08

Fuente. Alexandra Bonilla

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El proceso de dragado de los lodos de la Laguna de Colta, se desarrolla con una remoción constante en términos de material extraído del cuerpo hídrico.
- De la caracterización físico, química y microbiológica del lodo dragado de la Laguna de Colta se pudo concluir que el sedimento contenido en la laguna es un material libre de impurezas biológicas que puedan afectar al ser humano.
- De los resultados obtenidos del análisis de la muestra de lodos tomada, se pudo verificar un valor de 8.06 y 8.12 de pH en dos de las muestras, con un valor de potasio igual a >125 sobrepasando en baja proporción los límites establecidos en el TULSMA.
- Del análisis realizado de la parte líquida del material dragado; se obtuvieron valores de DBO igual a 112,0 mg/L, 486 mg/L para la DQO, 4.7×10^5 Coliformes fecales y 1.7×10^6 para Coliformes totales quedando fuera del límite establecido según se establece en el TULSMA Libro VI Anexo 1.
- Considerando los resultados obtenidos por medio de los respectivos análisis se contempla inicialmente el diseño de un sistema de espesamiento y de secado por medio de filtro de banda para tratar de manera directa el lodo y adicionalmente a ello conectar una planta de tratamiento para el agua filtrada durante este proceso.

- Se observa un caudal de dragado equivalente a $1020,36 \text{ m}^3/\text{d}$ el cual no se puede manejar bajo un tiempo de retención hidráulica de 18 horas en un sistema de espesamiento por lo cual se establece el conservar el sistema de celdas conformado por alrededor de 3 de dichas estructuras con dimensiones correspondientes a: 3 metros de ancho, 5 metros de largo y 3 metros de profundidad, mismas que se conectarán a un sistema de recolección y transporte de agua a través de tuberías que se podrán ubicar en la parte perimetral del mencionado sistema de tratamiento.
- El diseño de la planta de tratamiento establecida, en la etapa inicial de depósito del material dragado en la celda, contará con la remoción de alrededor del 60% de agua, correspondiente al volumen contenido en el material dragado. La fracción líquida pasará a un sistema de tratamiento de agua en la cual mediante la implementación de cada uno de los sistemas de tratamiento establecidos se logrará por medio del Sedimentador Primario una remoción de la DBO de 112 mg/L a 67.2 mg/L, DQO de 486 mg/L a 291.6 mg/L así como la remoción del 40% del material sólido que se arrastra por gravedad al sistema de tratamiento. Mientras por medio del sistema de Lodos Activados el contenido de DBO, DQO y Sólidos Suspendedos pasará a ser removido en alrededor del 93%.
- Este sistema garantiza la entrega de lodo apto para uso agrícola o para ser dispuesto como material de relleno de terreno, una vez seco el sedimento podrá ser trasladado con ayuda de cargadora y volqueta, una vez que se ha logrado regular el pH y potasio considerados para este caso como los principales parámetros fuera de rango, mientras se contempla la reducción principalmente de DBO, DQO y sólidos suspendidos en el agua.

4.2 Recomendaciones

- Establecer los costos correspondientes en cuanto a los materiales a utilizarse para la implementación de la planta de tratamiento diseñada.
- El dimensionamiento de la presente planta ha sido establecido considerando parámetros fuera del límite permisible, tanto para suelo (objetivo central) como para agua, esto debido a que el material dragado en sí consta de un 60% de agua y 40% de sedimento. Es así que debido a las distintas fluctuaciones que pueden presentarse a través del tiempo en factores que influyen en las características físicas, químicas y microbiológicas del recurso; tales como condiciones climáticas o tal vez el incremento o decrecimiento de ciertos organismos existentes en el cuerpo hídrico, se deberá realizar un nuevo análisis de ambas fracciones del material dragado, ya que esto permitirá establecer determinados ajustes en cada una de las etapas de tratamiento implementadas, para de esta manera lograr mejorar la eficiencia en cuanto a remoción de contaminantes.
- Si se desea aprovechar recursos, una vez llegado el proceso final o de entrega de lodo mediante la etapa de secado del mismo, se deberá realizar pruebas de compostaje utilizando la totora extraída, ya que por ser material orgánico que se ha desarrollado en el cuerpo de agua puede representar un material adicional, que contribuya al enriquecimiento del sedimento, incrementando su porcentaje de nutrientes. De tal manera que pueda ser entregado a las distintas comunidades e incluso ser comercializado.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed., Washington-EEUU. Joint Editorial Board. 2012, pp. 71-83

CONESA FERNÁNDEZ , Vítora. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 4. ed., Madrid-España. Mundi Prensa. 2010, pp. 172.

DEPARTAMENTO DE SALUD, EDUCACIÓN Y BIENESTAR DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA SERVICIO DE SALUD PÚBLICA. Manual Sobre Pequeños Abastecimientos De Agua. México D.F.-México. 1998, pp. 5-13

ESPINOZA C., María F. Evaluación de Desempeño de los Espesadores a Gravedad de la Planta de Aguas Residuales Ucubamba. (Tesis). (Ing. Civil). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Cuenca-Ecuador. 2013, pp. 22-28.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4469/1/Tesis.pdf>

2013/07/22

FERRERO, José. Depuración Biológica De Las Aguas. 2. ed., Madrid-España. ALHAMBRA. 1974, pp. 68-106.

FUENTES S., Alejandro. Diseño y Cálculo de la Obra de Llegada y Pre-tratamiento de una EDARU. (Tesis). (Ing. Química). Universidad Carlos III de Madrid, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ciencias, Madrid-España. 2000, pp. 18-20.

http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/14487/PFC_Alejandro_Fuentes_Santos.pdf?sequence=1
2013/07/22

METCALF & EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3a. ed., Madrid-España. McGraw-Hill. 1995, pp. 605-644.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO.

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecuador/indexesp.stm
2013/05/20

PROYECTO DE DESARROLLO DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS Y NEGROS DEL ECUADOR. Manejo Integral de la Cuenca del Kultakucha (Laguna de Colta). Colta- Ecuador. GAD COLTA. 2009, pp. 34-39.

RAMÍREZ, J.J. Characterization of the sediment in a tropical shallow lake. Caldasia 2004.

<http://www.quimica.unal.edu.co/publicaciones/art/170/26-N1/13F.pdf>

2014/04/26

RAMALHO, R.S. Tratamiento de Aguas Residuales. 2da ed. Quebec-Canadá. Reverté. 1983, pp. 531

SIERRA, C. Calidad del Agua-Evaluación y diagnóstico. Bogotá-Colombia. De la U. 2011, pp. 27-28.

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO. Protocolo de toma de muestra de suelo. Chile 2004
<http://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Protocolo%20toma%20muestras%20suelo.pdf>
2013/06/15

ANEXOS

ANEXO 1. Muestreo de lodo directamente de las celdas de depósito de material dragado



ANEXO 2. Muestreo de material dragado directamente desde la draga



ANEXO 3. Determinación de superficie a utilizarse para diseño de la Planta de Tratamiento de los Lodos de Dragado de La Laguna de Colta.



ANEXO 4. Filtración de material dragado para determinación de volumen de lodo a tratar



ANEXO 5. Resultados caracterización de lodos

PROTOCOLO N°: 0713-2699	RU-49
	Revisión: 04
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 1 de 4

NOMBRE DEL CLIENTE: INGENIERA ALEXANDRA BONILLA
DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: INGENIERA ALEXANDRA BONILLA
NOMBRE DEL PROYECTO: MONITOREO DE SUELO / LODOS
DIRECCIÓN DEL PROYECTO: LAGUNA DE COLTA / PROVINCIA DE COTOPAXI
MUESTREO REALIZADO POR: CORPLABEC S.A. / ALEX MINDA
PROCEDIMIENTO MUESTREO: POS-08.00 "MUESTREO DE SUELOS"
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: JULIO, 10 DEL 2013 / 08:46 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0003900
LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
FECHA DE ANÁLISIS: JULIO 10 AL 08 DE AGOSTO DEL 2013
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 08 DE AGOSTO DEL 2013

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	SUELO					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
S-0332	L1	CELDA 1 Y 2 1 mt	09/07/2013	16:15	17M 0749068 9808863 ± 4m	Ninguna Observación

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	S-0332
				L1
CARBONO ORGÁNICO FACILMENTE OXIDABLE	Walkley Black, 1934	PA - 35.00	%	2,42
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (*)	Análisis de suelos de Primo Yufera	Tercerizado (PARAMETRO NO ACREDITADO)	mEq/100g	21,13
CLORUROS (*)	EPA SW 846 9253	PA-53.00/PA-44.00	mg/kg	87
FLÚORUROS (*)	Standard Methods Ed-21-2005, 4500F- - D	PA-53.00/PA-55.00	mg/kg	7,8
FÓSFORO TOTAL (*)	Fusión Alcalina	PA - 49.00	mg/kg	327,3
NITRÓGENO TOTAL (*)	Kjeldahl	Tercerizado (PARAMETRO NO ACREDITADO)	g/100g	0,20
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	EPA 9045 D, Rev. 04, 2004	PA - 05.00	upH	8,00
MATERIA ORGANICA (*)	Walkley Black, 1934	PA - 35.00	%	5,41
COLIFORMES FECALIS (*)	Standard Methods Ed. 21 2005 9222 D	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UFC/g suelo seco	4,80E+01
COLIFORMES TOTALES (*)	Standard Methods Ed-21-2005, 9222B	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UFC/g suelo seco	8,40E+02
CALCIO (*)	EPA 7140 Ed. 1996	Tercerizado (PARAMETRO ACREDITADO)	mg/kg	148
MAGNESIO (*)	EPA 7450, Ed. 1996	Tercerizado (PARAMETRO ACREDITADO)	mg/kg	13
POTASIO	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996	PA - 26.00	mg/kg	>125
SODIO (*)	APHA 3120 B	Tercerizado (PARAMETRO ACREDITADO)	mg/kg	1582,6

ANEXO 6. Resultados caracterización Físico-Química de Agua de dragado

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Alexandra Bonilla

Fecha de Análisis: 12 de septiembre del 2013

Fecha de Entrega de Resultados: 18 de septiembre de 2013

Tipo de muestras: Agua del dragado de la Laguna de Colta

Localidad: Cantón Colta

Código LAT/153-13

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	7.39
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	787.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	486.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	112.0
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	384.0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	3,600.0
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	400.0
Nitratos	mg/L	4500-NO3-C	6.0
Fosfatos	mg/L	4500-PO4-B	1.8

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.

BOYER RÍO DE ANA

ANEXO 7. Resultados de caracterización microbiológica de Agua de dragado

Contáctanos: 093387300 - 032942022 ó 093806600 – 03360-260

Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

E XAMEN MICROBIOLOGICO DE AGUA


CODIGO: 319-2013

CLIENTE: Srta. Alejandra Bonilla		
DIRECCION: Cantón Colta		
TIPO DE MUESTRA: Agua del dragado de la laguna de Colta.		
FECHA DE RECEPCIÓN: 2013-09-12		
FECHA DE MUESTREO: 2013-09-12		
DETERMINACIONES	METODO USADO	VALOR ENCONTRADO
Coliformes Totales UFC/100ml	Filtración por membrana	4.7×10^5
Coliformes Fecales UFC/100ml	Filtración por membrana	1.7×10^6
03 OBSERVACIONES:		
FECHA DE ANALISIS: 2013-09-12		
FECHA DE ENTREGA: 2013-09-20		
RESPONSABLES:		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"><div style="text-align: center;"> Dra. Gina Álvarez R.</div><div style="text-align: center;"></div><div style="text-align: center;"> Dra. Fabiola Villa</div></div>		

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

*La muestra es receptada en el laboratorio.

ANEXO 8. Registro de horario de trabajo de la draga



**Gobierno Autónomo Descentralizado
Municipal del Cantón Colta**

Por un Colta Unido y Milenario Cuna de la Racionalidad Ecuatoriana Capital de la Nación Puruha

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA

PROYECTO DE RECUPERACIÓN Y MANEJO DE LA LAGUNA DE COLTA

REGISTRO DE DRAGADO

MES: SEPTIEMBRE 2013

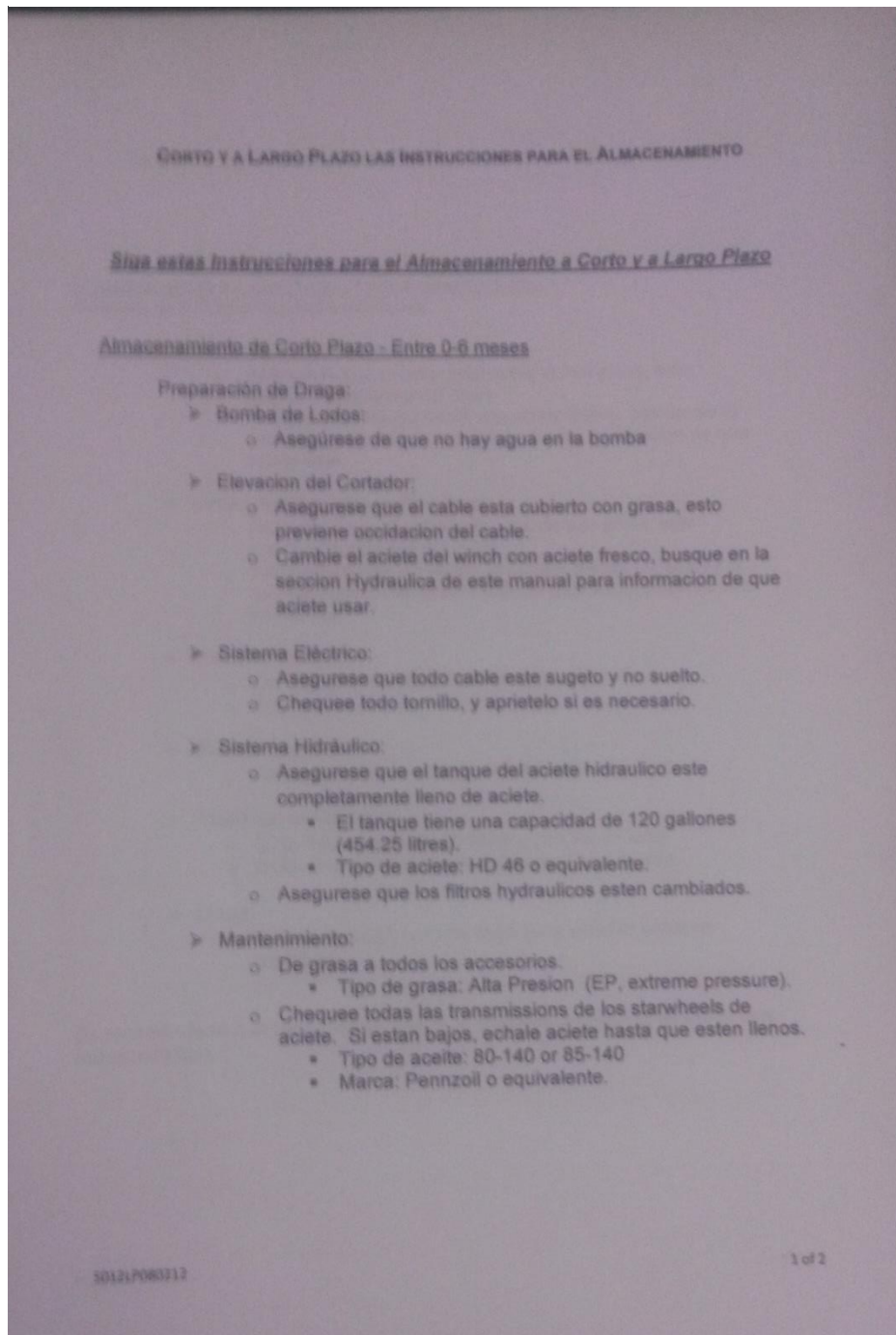
RESPONSABLES: JOSÉ GUACHO

TIPO DE MÁQUINA: DRAGA 5012 LP

FECHA	HORA DE INICIO	HORA FINAL	TOTAL HORAS/DÍA	OPERADOR/ AYUDANTE	OBSERVACIONES
01/09/2013			0	1 Operador, 2 Ayudantes	
02/09/2013	888	894,4	6,4	1 Operador, 2 Ayudantes	
03/09/2013	894,4	900,6	6,2	1 Operador, 2 Ayudantes	
04/09/2013	900,6	901,6	1	1 Operador, 2 Ayudantes	
05/09/2013	901,6	904,7	3,1	1 Operador, 2 Ayudantes	
06/09/2013	904,7	910,8	6,1	1 Operador, 2 Ayudantes	
07/09/2013					
08/09/2013					
09/09/2013	910,8	918	7,2	1 Operador, 2 Ayudantes	
10/09/2013	918	924,6	6,6	1 Operador, 2 Ayudantes	
11/09/2013	924,6	927,2	2,6	1 Operador, 2 Ayudantes	
12/09/2013			0	1 Operador, 2 Ayudantes	
13/09/2013	927,2	933	5,8	1 Operador, 2 Ayudantes	
14/09/2013					
15/09/2013					
16/09/2013	933	939,2	6,2	1 Operador, 2 Ayudantes	
17/09/2013	939,2	941,4	2,2	1 Operador, 2 Ayudantes	
18/09/2013	941,4	946,6	5,2	1 Operador, 2 Ayudantes	
19/09/2013	946,6	953,2	6,6	1 Operador, 2 Ayudantes	
20/09/2013	953,2	960,2	7	1 Operador, 2 Ayudantes	
21/09/2013					
22/09/2013					
23/09/2013	960,2	963,5	3,3	1 Operador, 2 Ayudantes	
24/09/2013			0	1 Operador, 2 Ayudantes	
25/09/2013			0	1 Operador, 2 Ayudantes	
26/09/2013	963,5		0	1 Operador, 2 Ayudantes	
27/09/2013			0	1 Operador, 2 Ayudantes	
28/09/2013					
29/09/2013					
30/09/2013			0	1 Operador, 2 Ayudantes	
TOTAL DE HORAS TRABAJADAS			75,5		

RESUMEN MENSUAL (SEPTIEMBRE 2013)			
HORAS TRABAJADAS	SEDIMENTO EXTRAIDO (m3)	TOTORA EXTRAIDA	OBSERVACIONES
75,5	4530	0	

ANEXO 9. Características Técnicas de la Draga



ANEXO 10. Esquema de Planta de Tratamiento para los Lodos de Dragado de la Laguna de Colta

